



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Опасные явления погоды и их влияние на полеты воздушных судов
в районе аэродрома Магадан (Сокол)»

Исполнитель Михеева Дарья Дмитриевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)
кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 08 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	3
1 ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ ДЛЯ АВИАЦИИ	6
1.1 Атмосферные явления, ухудшающие видимость	6
1.2 Осадки, гроза, шквал. Влияние осадков и гроз на работу авиации.....	8
1.3 Видимость и низкая облачность. Влияние на работу авиации	12
1.4 Атмосферная турбулентность. Условия образования и влияния на полеты воздушного судна.....	14
1.5 Обледенение. Условия образования и влияния на полеты воздушного судна	16
1.6 Сдвиг ветра. Условия образования и влияния на полеты воздушного судна	17
1.7 Вулканический пепел. Влияние на полеты воздушного судна и на работу авиационных служб	19
2 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ И АЭРОДРОМА МАГАДАН (СОКОЛ)	22
2.1 Физико-географическая характеристика	22
2.2 Климатическое описание аэродрома Магадан (Сокол).....	25
2.3 Опасные явления погоды характерные для аэропорта Магадан (Сокол) .	26
3 ДАННЫЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ	31
4 АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ НА АЭРОДРОМЕ МАГАДАН (СОКОЛ)	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	73

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач метеорологии является исследование состояния погоды и климата. Погода изменчива во времени и пространстве. Учение о погоде и методах ее предсказания относится к синоптической метеорологии. Характер погоды, ее изменения оказывают большое влияние на всю деятельность человека и на большинство отраслей народного хозяйства. От погоды в большой степени зависят сельское хозяйство, строительные работы, средства связи, работа всех видов транспорта. Такие явления как засуха, ливни, наводнения, гололед, снежные заносы, метели, ураганы, гроза, град приносят колоссальные убытки всем отраслям хозяйства.

В большой зависимости от погоды находится авиация. Полеты воздушных судов без метеорологической информации невозможны. На полет самолета оказывают влияния такие метеорологические элементы как температура, давление воздуха, направление и скорость ветра, количество, форма и высота облаков, осадки и явления погоды. Необходимы точные сведения о продолжительности, повторяемости, интенсивности, условий возникновения и прогнозирования явлений погоды.

Состояние погоды характеризуется метеорологическими элементами и явлениями, наблюдаемыми в определенный момент времени. Метеорологические наблюдения на аэродромах производятся непрерывно, а при достижении опасных для авиации критериев погоды выпускаются специальные сводки.

Современное самолетное и наземное оборудование, применяемое для обеспечения безопасности полетов в сложных метеорологических условиях, все еще не исключает зависимость авиации от погоды.

Ограниченная видимость сильно затрудняет взлет и посадку всех воздушных судов, а иногда делает их невозможными. Плохая видимость и сильный ветер также препятствуют или затрудняют полеты на малых высотах,

создавая угрозу столкновения самолета и вертолетов с землей или возвышающимися над ней препятствиями.

Видимость является для авиации очень важным элементом и включена в определение минимума погоды для пилота и аэродрома. Только при определенных минимальных условиях видимости и высоты нижней границы облаков может быть обеспечена безопасность посадки и взлета самолетов в сложных метеорологических условиях.

Резкие смены погоды, частые штормы, жестокие морозы, густые туманы, продолжительные метели, интенсивные гололеды, обильные осадки отрицательно сказываются на многих сторонах деятельности предприятий и организаций Магаданской области.

Все метеорологические элементы так или иначе влияют на деятельность авиации, но некоторые из них не являются опасными для полетов. Авиационная техника по-прежнему зависит от погодных условий.

Цель научно-исследовательской работы:

проанализировать метеорологические явления и их влияние на безопасность полетов.

Задачи научно-исследовательской работы:

- рассмотреть метеорологические явления, которые могут повлиять на безопасность полетов;
- изучить условия образования метеорологических явлений;
- определить синоптические и метеорологические условия образования явлений;
- определить влияния метеорологических явлений на работу авиации;
- сделать анализ данных погоды на аэродроме Магадан (Сокол).

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первой главе описываются понятия и определения опасных метеорологических явлений погоды, которые могут повлиять на безопасность полетов.

Во второй главе описаны местоположение и климатическая характеристика Магаданской области и аэродрома Магадан (Сокол).

В третьей главе приведены данные, которые использовались для выпускной квалификационной работы.

В четвертой главе были подробно рассмотрены и проанализированы опасные метеорологические явления погоды в аэропорту Магадан (Сокол).

Список использованных источников содержит 8 наименований.

1 ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ ДЛЯ АВИАЦИИ

1.1 Атмосферные явления, ухудшающие видимость

Видимость относится к минимуму погоды на аэродроме. Из-за различных метеорологических явлений происходит ухудшение видимости. К таким явлениям относятся: туман, дымка, мгла, дым, метель.

Туман (FG) – это помутнение воздуха, вызванное скоплением продуктов конденсации или сублимации в приземном слое. Видимость менее 1000 метров.

В зависимости от причины образования туманы подразделяются на:

- радиационные туманы образуются в результате радиационного охлаждения почвы, от которых охлаждается прилегающий слой воздуха;
- адвективные туманы образуются при движении теплого влажного воздуха над холодной подстилающей поверхностью. Имеют большую вертикальную протяженность, с высотой уплотняются, сопровождаются морсящими осадками, наблюдаются при сильных ветрах. Могут возникать в любое время суток и сохраняться длительное время;
- фронтальные туманы связаны с атмосферными фронтами, которые разделяют теплые и холодные воздушные массы.

Замерзающий (переохлажденный) туман (FZFG) – это скопление в воздухе переохлажденных капелек воды с кристалликами льда. Образуется при температуре от 0° С до -30° С. Видимость менее 1000 метров.

Тонкий (поземный) туман (MIFG) – это туман, при котором наблюдаемая горизонтальная видимость составляет 1000 метров или более, но в слое между уровнем земли и 2 метрами над землей существует слой, в котором истинная видимость составляет менее 1000 метров.

Обрывки, клочья тумана (BCFG) – это обрывки тумана, которые беспорядочно покрывают аэродром. Горизонтальная видимость составляет

1000 метров или более, но наблюдатель может видеть, где истинная видимость составляет менее 1000 метров.

Частичный, покрывающий часть аэродрома (PRFG) – это когда значительная часть покрыта туманом, а на другой части тумана нет. Видимость в тумане должна быть менее 1000 метров, при этом туман распространяется до высоты двух метров над землей.

Вблизи (окрестности) (VC) – это участок, примыкающий к аэродрому, расстояние которого составляет от 8 до 16 километров от контрольной точки аэродрома.

Дымка (BR) – это сильно разряженный туман; возникает в результате конденсации водяного пара с образованием мельчайших капелек воды (намного меньше капелек тумана), которые создают слабое помутнение атмосферы. Видимость от 1 км до 5 км.

Мгла (HZ) – это сплошное помутнение воздуха, вызванное взвешенными в нем частицами пыли, дыма, гари. При мгле предметы, находящиеся на большом расстоянии, часто принимают сероватый оттенок, а солнце – красновато-желтый.

Дым (FU) – это взвесь небольших частиц в атмосфере, возникающие в результате сгорания топлива и других веществ, уменьшает горизонтальную видимость до 5 км и менее.

Пыльный (песчаный) поземок (DRDU/DRSA) – это перенос пыли, частиц почвы или песка у поверхности земли до высоты 1,5-2 метра. Возникает при сухой поверхности почвы.

Пыльная (песчаная) буря (DS/SS) – это перенос больших количеств пыли или песка ветром в приземном слое воздуха, при этом может наблюдаться подъем песка и частиц почвы в воздух и одновременно оседание пыли на большой территории. Видимость ухудшается значительно.

Метель – это перенос снега с поверхности снежного покрова под влиянием сильного порывистого ветра, в результате чего происходит перераспределение высоты снежного покрова (выдувание и наметание снега

около препятствий), а также изменение структуры снега (уплотнение снега вследствие измельчания снежных кристаллов).

В зависимости от высоты, на которую ветер поднимает снег с поверхности земли, различают 3 вида метели:

- общая метель – если неба не видно и нельзя определить выпадает снег из облаков или переносится только снег, поднятый с поверхности. Движение частиц снега хаотическое. Видимость уменьшена как по горизонтали, так и по вертикали;

- низовая снежная метель (BLSN) – это перенос снега с поверхности снежного покрова до высоты 2-3 метров. При этом горизонтальная видимость значительно хуже вертикальной и можно определить состояние неба. Метель начинается при средней скорости ветра 6 м/с;

- поземок снежный (DRSN) – это перенос снега ветром у поверхности земли до высоты 1,5-2 метра, движение частиц снега более или менее параллельно земле; часто наблюдается при безоблачном небе, но может наблюдаться одновременно с выпадением осадков. Видимость уменьшена незначительно. Поземок начинается при средней скорости ветра 5 м/с.

1.2 Осадки, гроза, шквал. Влияние осадков и гроз на работу авиации

Атмосферные осадки – это водяные капли или ледяные кристаллы, которые выпадают из облаков на поверхность земли.

По характеру выпадения осадки делятся на 3 типа:

1. обложные осадки – выпадают длительное время и на большой территории из слоисто-дождевых (Ns) и высоко-слоистых (As) облаков;

2. ливневые осадки – выпадают в короткий промежуток времени и в большом количестве, на ограниченной территории из кучево-дождевых (Cb) облаков; капли более крупные, снежинки – хлопьями;

3. морозящие – это мелкие капли, падение которых глазом не заметно, выпадают из слоистых (St) облаков или оседают вместе с туманом.

По виду различают:

Дождь (RA) – это жидкие осадки, выпадающие из облаков на земную поверхность в виде капель.

Ливневый дождь (SHRA) – это жидкие осадки, отличаются внезапностью начала и конца выпадения и резким нарастанием интенсивности. Может сопровождаться градом и грозой.

Морось (DZ) – это жидкие осадки, выпадают в виде очень мелких капель, их падение почти незаметно для глаз.

Снег (SN) – это твердые осадки в виде отдельных мелких кристаллов, звездочек или хлопьев.

Ливневый снег (SHSN) – это снег, отличающийся внезапностью начала и конца выпадения, резкими колебаниями интенсивности и кратковременностью периода наиболее сильного его выпадения.

Снежная крупа (SHGS) – это осадки, выпадающие в виде непрозрачных снежных крупинок белого или матово-белого цвета шарообразной или конусообразной формы диаметром 2-5 мм. Они хрупки и легко раздавливаются пальцами. При падении на твердую поверхность – отскакивают. Часто выпадают с ливневыми осадками, со снегом или дождем, при температуре около 0°C.

Снежные зерна (SG) – это твердые осадки, выпадают в виде непрозрачных, матово-белого цвета мелких крупинок (палочек, столбиков и пластинок), похожих по внешности на манную крупу (замерзший эквивалент мороси) диаметром менее 2 мм. Выпадают при низких температурах (ниже -10°C) в небольшом количестве из слоистых (St) или слоисто-кучевых (Sc) облаков.

Ледяная крупа (PL) – это осадки, выпадающие в виде ледяных прозрачных крупинок шарообразной или неправильной формы. В центре крупинок находится непрозрачное ядро. Диаметр крупинок 3 мм. Крупины тверды, чтобы их раздавить потребуется некоторое усилие. При падении на твердую поверхность они отскакивают. Образуются из замерзающих

дождевых капель или значительно подтаявших хлопьев снега, что может указывать на то, что на более высоких уровнях существует переохлажденный дождь, а это создает опасность сильного обледенения после взлета или во время посадки.

Ледяной дождь (FZRA) – это осадки, представляющие собой мелкие, твердые, совершенно прозрачные ледяные шарики диаметром 1-3 мм. Ледяной дождь отличается от ледяной крупы отсутствием непрозрачного белого ядра – внутри ледяного шарика остается незамерзшая (переохлажденная) вода. Падая на предметы, эти шарики разбиваются, вода вытекает и замерзает.

Ледяные иглы (IC) – это осадки в виде мельчайших ледяных кристаллов, образуются обычно при температуре ниже -10°C (входят в состав ледяного тумана) и чаще всего при безоблачном небе. Днем сверкают на солнце, их свечение заметно ночью при луне или при свете фонаря. Находятся во взвешенном состоянии, однако могут давать измеримое количество осадков.

Мокрый снег (SNRA, RASN) – это осадки, выпадающие в виде тающего снега при положительной температуре воздуха. Иногда вместе с подтаявшими снежинками выпадают капли дождя.

Ливневый мокрый снег (SHSNRA, SHRASN) – это осадки в виде тающего снега ливневого характера.

Переохлажденными осадками в авиации называются осадки, которые приводят к образованию гололеда.

Переохлажденные (замерзающие) осадки (FZ) – это такие осадки, которые в авиации приводят к образованию гололеда. Используются при температуре ниже 0°C для описания мороси или дождя, которые замерзают при контакте с почвой или объектами, а также для описания тумана, который состоит из мельчайших кристаллов льда.

Замерзающая морось (FZDZ) – выпадает при не слишком низких отрицательных температурах из слоистых (St) облаков или тумана.

Замерзающий дождь (FZRA) – выпадает при отрицательной температуре воздуха. При соприкосновении с землей или летательным аппаратом капли

переохлажденной воды образуют смесь воды и прозрачного льда. Ударяясь о поверхность земли, капли замерзают и образуется гололед. Замерзающий дождь приравнен к ледяному дождю. Образуются при замерзании капель дождя, когда последние попадают из теплого в холодный слой атмосферы.

Град (SHGR) – это осадки, выпадающие в виде кусочков льда разнообразных форм и размеров. Ядра градин обычно непрозрачны. Выпадают в теплое время года из кучево-дождевой облачности (Cb) и обычно с ливневым дождем. Обильный, крупный град почти всегда связан с грозой.

Гроза (TS) – это атмосферное явление, при котором возникают мощные электрические разряды между облаками или между облаком и землей, внутри облаков, которые сопровождаются звуковым эффектом – громом. С грозой связаны ливневые осадки, град и сильный ветер.

Условия полета в зоне грозовой деятельности сложны и опасны. В кучево-дождевой облачности наибольшую угрозу для авиации представляют мощные вертикальные токи воздуха, сопровождающиеся сильными порывами, беспорядочная турбулентность, интенсивное обледенение, электрические разряды, град и ливневые осадки. Иногда все указанные опасные явления наблюдаются одновременно.

Под облаками опасность представляют шквалистые ветры и ливневые осадки, между облаками – сильные нисходящие и восходящие потоки воздуха.

Шквал (SQ) – это внезапное резкое усиление ветра на 8 м/с и более, скорость ветра возрастает до 11 м/с и более и сохраняется в течении 1 минуты. Шквал сопровождается изменением его направления. Наблюдается при кучево-дождевых (Cb) облаках, грозах и ливнях. Для шквала характерно вихревое движение воздуха с горизонтальной осью в облаках или под ними.

Осадки усложняют полет самолета, ухудшая горизонтальную видимость. При видимости менее 1000 метров осадки считаются сильными, независимо от характера выпадения, то есть обложные, морсящие или ливневые. Кроме того, для взлета и посадки опасна водяная пленка на стеклах кабины, которая вызывает оптическое искажение видимых объектов. Осадки

оказывают существенное влияние на состояние и эксплуатацию аэродромов, особенно грунтовых, что приводит к размоканию взлетно-посадочной полосы (ВПП). При попадании в зону града – это вызывает серьезное техническое повреждение. При посадке на мокрую ВПП возможно выкатывание за ее пределы, так как изменяется длина пробега самолета. При взлете опасна струя воды, которая отбрасывается от шасси, она может всасываться в двигатель, вызывая потерю тяги. В полете осадков кроме ухудшения видимости, имеет место снижение высоты облаков (особенно на атмосферных фронтах).

1.3 Видимость и низкая облачность. Влияние на работу авиации

Видимость – это зрительное восприятие объектов, определенное существованием яркостных и цветовых различий между предметами и фоном.

Метеорологическая дальность видимости (МДВ) – это наибольшее расстояние, с которого в светлое время суток можно различить на фоне неба вблизи горизонта черный объект достаточно больших размеров. В ночное время расстояние до наиболее удаленного видимого точечного источника света определенной силы. Может определяться визуальным или инструментальным методом.

Низкая облачность – характеризуется тем, что облака находятся очень низко над землей. Она определяется как вертикальная видимость от поверхности земли до нижней границы облака.

Облачность и ограниченная видимость являются одним из основных метеорологических факторов, осложняющих деятельность авиации. Взлет, посадка, пилотирование самолетов и вертолетов, особенно полеты на предельно малых высотах затруднены при низкой облачности и ограниченной видимости. Наибольшие трудности для полетов воздушных судов возникают в зонах атмосферных фронтов, которые характеризуются облачными системами значительной вертикальной и горизонтальной протяженности и наличием опасных метеорологических явлений. В однородных воздушных

массах также формируются обширные зоны с низкой облачностью и плохой видимостью, сильно осложняющие взлет, посадку и полет на малых высотах.

При полетах на малых высотах пилоты наиболее часто встречаются с метеорологическими явлениями, не только затрудняющими пилотирование и самолетовождение, но и зачастую исключают возможность выполнения задач полета.

Основными метеорологическими факторами, осложняющими полеты и влияющими на их безопасность, являются низкие облака слоистых форм и ограниченная видимость в холодное время года. Влияние низкой облачности на полеты возникает не только расположением ее на незначительной высоте, но и сложным строением нижней границы.

Плохая видимость влияет на обнаружение и опознавание наземных ориентиров. При полете на малой высоте их обнаружение зависит от высоты полета.

При ограниченной видимости дальность обнаружения ориентиров уменьшается. С уменьшением высоты полета сокращается время, которое требуется пилоту на опознавание ориентиров. Наблюдения за наземными ориентирами с небольшой высоты более ограничены при полетах в условиях дымки, плотность которой существенна у земной поверхности.

Плохая видимость, вызываемая разными погодными условиями, такими как туман, дымка, мгла, ливневый дождь, снегопад, метель, пыльная или песчаная бури, сильно затрудняют посадку и взлет самолета, но иногда делают их невозможными. Плохая видимость также препятствует или затрудняет визуальные полеты на малых высотах, создавая угрозу столкновения самолета с землей или с наземными препятствиями.

Видимость характеризуется дальностью видимости, то есть как далеко видно и степенью видимости, как хорошо видно. При обеспечении полетов интересуются только дальностью видимости, которую обычно называют видимостью.

1.4 Атмосферная турбулентность. Условия образования и влияния на полеты воздушного судна

Турбулентность (от латинского слова «турбо» - завихрения, водоворот) – это состояние атмосферы, при котором наблюдаются неупорядоченные вихревые движения различных масштабов и различных скоростей.

Турбулентность оказывает большое влияние на полет воздушного судна. Она может проявляться в виде покачивания, дрожания, бросков самолета в разные стороны, частых и мелких толчков, следующих один за одним. Болтанка снижает работоспособность экипажа и нарушает комфорт пассажиров. При интенсивной турбулентности пилот может потерять управляемость воздушного судна, также могут быть повреждения или разрушения конструкции. При полетах на больших высотах болтанка может привести к самовыключению двигателя из-за резкого уменьшения, поступающего к нему воздуха.

Турбулентный обмен оказывает серьезное влияние на условия формирования, эволюцию и микрофизическое строение облаков, осадков и туманов, с которыми связаны сложные метеорологические условия полетов. Турбулентные зоны, которые вызывают болтанку самолетов имеют достаточно резкие границы, могут наблюдаться как в облаках, так и в безоблачных границах. Турбулентности атмосферы присущи порывистость ветра, перенос по вертикали водяного пара, ядер конденсации, она способствует вертикальному переносу тепла из одних слоев в другие.

Атмосфера практически всегда находится в турбулентном состоянии. Основной причиной турбулентности воздушных течений являются возникающие в атмосфере контрасты температуры и ветра.

Причины атмосферной турбулентности:

- трение воздушного потока о поверхность земли и как следствие большие вертикальные градиенты ветра в нижнем слое;
- процессы облакообразования;

- деформация воздушных течений горами;
- неравномерное нагревание разных участков подстилающей поверхности, что вызывает термическую конвекцию;
- взаимодействие воздушных масс на атмосферных фронтах;
- волновые движения на инверсионных слоях, переходящие при определенных условиях в вихревые образования;
- трение на внешних границах ветрового потока, наблюдаемого на больших высотах – струйного течения – о более спокойный окружающий воздух.

Турбулентность в зависимости от причин возникновения можно разделить на термическую (конвективную), динамическую и механическую (орографическую).

Термическая турбулентность образовывается в результате неравномерного нагревания поверхности или при адвекции холодного воздуха на теплую подстилающую поверхность. Возникает в неустойчивых воздушных массах и распространяется на большую высоту, интенсивна в летний период и в дневное время.

Динамическая турбулентность возникает в слоях атмосферы, где наблюдаются большие вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра и температуры, особенно наблюдается в зонах струйных течений.

Механическая турбулентность появляется из-за трения воздушного потока о земную поверхность. Ее интенсивность зависит от неровностей подстилающей поверхности и скорости ветра, что приводит к образованию восходящих и нисходящих потоков, которые и вызывают болтанку воздушного судна.

1.5 Обледенение. Условия образования и влияния на полеты воздушного судна

Обледенение – это отложение льда на различных частях самолета. Оно возникает при полете в облаках, тумане, мокром снеге, переохлажденных осадках при температурах от 0° до -40° , а интенсивное обледенение от 0° до -10° . Интенсивность обледенения зависит от влажности, чем влажность больше, тем интенсивнее обледенение.

Главная опасность обледенения заключается в том, что оно нарушает обтекание крыла самолета, а это приводит к преждевременному срыву потока, потере крылом подъемной силы. Самолет теряет свои аэродинамические качества.

Лед искажает показания ряда приборов, выводит из строя системы и двигатели, вызывает потерю тяги и вибрацию винта. Обледенения самолетов и вертолетов происходит не только в полете, но и на открытых стоянках. Отложение льда может наблюдаться на любых частях и быть значительным.

Обледенение возникает вследствие 2х причин:

1. основной причиной является замерзание переохлажденных капель воды, которые сталкиваются с поверхностью самолета;
2. за счет сублимации водяного пара на поверхности самолета, при резком снижении охлажденного самолета в более теплый влажный воздух. Самолет покрывается слоем инея, но при выравнивании температур он исчезает. Инеобразный вид обледенения может быть и при ясном небе.

Основные факторы, которые влияют на интенсивность обледенения – это повышенная влажность облаков, их агрегатное состояние, размеры водяных капель, наиболее опасное в зоне с переохлажденными (замерзающими) осадками и в облаках с крупными переохлажденными каплями.

Метеорологические условия обледенения определяются прежде всего распределением температуры по высоте и формой облаков, в которых происходит полет. Наиболее часто обледенение происходит в облаках,

находящихся от земли до высоты 2500 метра и состоящих из переохлажденных капель. Наиболее опасное и сильное обледенение наблюдается в кучево-дождевых облаках, именно в той части облака, где температура располагается от 0° до -10° .

- Чтобы обледенение имело место, должно быть наличие переохлажденной воды в атмосфере (капли жидкой воды при температуре ниже 0°C);
- чем больше содержание переохлажденной воды, тем более значителен риск обледенения;
- содержание переохлажденной воды уменьшается при понижении температуры;
- чем больше размер капли переохлажденной воды, тем более значителен риск;
- переохлажденные капли воды не могут существовать при температуре ниже -40°C .

1.6 Сдвиг ветра. Условия образования и влияния на полеты воздушного судна

Скорость и направление ветра оказывают существенное влияние на взлетно-посадочные характеристики самолетов. От них зависит безопасность взлета и посадки, длина разбега и пробега самолета.

Самолет всегда взлетает и садится против ветра, так как встречный ветер уменьшает скорость отрыва и посадочную скорость, значит, уменьшает длину разбега при взлете и длину пробега при посадке самолета. Встречный ветер при взлете создает дополнительный обдув самолета, что приводит к путевой устойчивости управляемости самолета в начале движения. При попутном ветра, наоборот, увеличивается длина разбега и пробега, ухудшается устойчивость и управляемость самолета в начале движения, усложняется выполнение взлета и посадки.

В большой степени усложняется взлет и посадка при боковом ветре, потому что образуются дополнительные аэродинамические силы, которые затрудняют управление воздушным судном. Выполняя посадку при сильном боковом ветре, пилоту необходимо бороться со сносом, который может привести к приземлению за пределами взлетно-посадочной полосы. Для каждого типа воздушного судна установлены свои критерии скорости бокового ветра, при превышении которой взлет и посадка не разрешаются.

При заходе на посадку экипаж должен иметь информацию не только о направлении и скорости ветра, но и о возможных резких изменениях параметров ветра. За короткое время самолет пересекает самый нижний слой атмосферы, что ограниченный запас высоты, скорости полета и приемистости двигателей не дают экипажу вовремя среагировать на резкое изменение ветра. Одной из главных причин летных происшествий было отсутствие информации о резком изменении ветра.

Характеристикой пространственной изменчивости ветра является сдвиг ветра.

Сдвиг ветра – это изменение направления и/или скорости ветра в пространстве, включая восходящие и нисходящие воздушные потоки.

Сдвиг ветра представляет собой векторную величину, то есть разность векторов ветра в двух точках пространства, которая отражает изменение скорости и направления ветра между этими точками. Различают горизонтальный и вертикальный сдвиг ветра.

Горизонтальный сдвиг ветра описывает изменение горизонтального движения воздуха. Например, между разными концами ВПП, и где установлены датчики ветра.

Вертикальный сдвиг ветра описывает изменение вектора ветра с высотой по вертикали. Например, по данным датчиков ветра, установленных на разной высоте, шаропилотным данным.

Причины возникновения сдвига ветра:

- грозы, микропорывы, воронкообразные облака (торнадо или водяной смерч);
- атмосферные фронты;
- сильный приземный ветер, определенный местными топографическими условиями;
- морской бриз;
- горные волны;
- температурные инверсии на малых высотах.

Резкое изменение характера движений воздуха вдоль траектории полета вызывает временное неустановившееся движение, в ходе которого нарушается равновесие подъемной силы и веса воздушного судна, тем самым сдвиг ветра значительно влияет на полет воздушного судна.

Особенно опасны сдвиги ветра, которые вызывают потерю высоты (касание до ВПП, задевание строений), а при взлете опасны из-за возможности выхода за нижний предел сектора безопасного набора высоты (рельеф, строения, растительность) по курсу взлета.

Боковой сдвиг ветра в основном направлен поперек траектории полета воздушного судна, который вызван резкими изменениями направления ветра, и тем самым вызывает боковое смещение от расчетной траектории полета воздушного судна, что также опасно при полете вблизи поверхности земли.

1.7 Вулканический пепел. Влияние на полеты воздушного судна и на работу авиационных служб

Вулканический пепел – это выбрасываемые и находящиеся в атмосфере пыль или частицы, значительно различающиеся по размеру, при извержении вулкана. Небольшие частицы часто проникают в стратосферу и остаются там во взвешенном состоянии в течение длительного периода времени (в течение дней, недель и даже месяцев). Более крупные частицы остаются в тропосфере и могут переноситься ветром на большие расстояния.

Вулканический пепел представляет собой мелкие осколки стекла и распыленную горную породу, он представляет серьезную угрозу для воздушного судна. Вулканический пепел приводит к повреждению турбореактивных двигателей, абразивному стиранию стекол кабины экипажа, засоряет систему приемника воздушного давления, загрязняет электрическую и электронную бортовые аппаратуры, топливную и гидравлические системы и системы обнаружения дыма в грузовом отсеке, проникает в системы кондиционирования воздуха и охлаждения оборудования. Системы охлаждения, смазки и фильтрации часто оказываются настолько загрязненными, что их невозможно очистить и приходится заменять. Движущиеся детали механического оборудования, такие как подшипники, тормозные системы и системы передач, быстро изнашиваются под воздействием вулканического пепла, так как установленные на оборудовании фильтры и системы смазки сами оказываются забитыми или загрязненными пеплом. При выпадении дождя вулканический пепел может впитывать достаточное количество воды. Вследствие этого может привести к обрушению крыш ангаров, так как мокрый пепел подобен мокрому цементу. Также мокрый пепел, осевший на воздушные суда, может привести к значительному перемещению центра тяжести и опрокидыванию воздушного судна, если оно не закреплено хвостовым костылем.

Вулканический пепел оседает на территорию аэродрома и вокруг него, загрязняя электронное, механическое и электротехническое наземное оборудование. Вулканический пепел находящийся на взлетно-посадочной полосе уменьшает коэффициент сцепления с поверхностью ВПП шасси воздушного судна. А также сильно ухудшает видимость, при подъеме его с поверхности за счет работающих двигателей воздушных судов. При загрязнении атмосферы вулканическим пеплом нормальная работа оборудования наземного обеспечения представляет собой очень сложную задачу, потому что в нем используются турбины, компрессоры и кондиционеры, которые обеспечивают только минимальную или грубую

очистку воздуха. Оборудование наземного обеспечения полетов зачастую выходит раньше из строя, чем становится невозможным выполнение полетов, приводя к отмене рейсов.

Для полного закрытия аэродрома для приема и вылета воздушных судов достаточно совсем небольшого слоя пепла (всего 1 мм).

Республикой Саха (Якутия). У истоков реки Моустах начинается граница с Чукотским автономным округом, а у истоков реки Молонгды – с Камчатским краем.

Своеобразное расположение территории области в высоких широтах Северного полушария между водами холодных морей обуславливает характерные для региона суровые климатические условия. Колымский горный хребет, проходящий с юго-запада на северо-восток и являющийся водоразделом бассейнов рек, впадающих в моря Северного Ледовитого океана и рек, впадающих в моря Тихого океана, а также горная система Черского, пересекающая горную часть области в направлении с северо-запада на юго-восток, и другие горные сооружения оказывают большое влияние на формирование климата.

Международный аэропорт Магадан (Сокол) расположен на правом берегу реки Уптар в 56 км севернее города Магадан и в 1,5 км от поселка Сокол. Река Уптар соединяется с долиной реки Армань, впадающей в Охотское море. Координаты контрольной точки аэродрома Магадан (КТА): 59°54'38" северной широты и 150°43'05" восточной долготы.



Рисунок 2.2 – Географическое положение международного аэропорта Магадан (Сокол)

Рельеф местности аэродрома горный. От побережья Охотского моря к аэродрому рельеф местности постепенно повышается. Севернее аэродрома на расстоянии 10 км расположен Хасынский хребет, протянувшийся с запада на восток, с максимальным превышением 1367 м. Западнее аэродрома протянулся невысокий Арманский хребет, расположенный с запада на восток, с максимальным превышением 1135 м. К югу от аэродрома и до побережья расположены отдельные сопки высотой 435-1022 м, ближайшая из которых расположена юго-восточнее от аэродрома на расстоянии 5 км.



Рисунок 2.3 – Спутниковый снимок международного аэропорта Магадан (Сокол)

2.2 Климатическое описание аэродрома Магадан (Сокол)

Разнообразие физико-географических условий вызывает и большое разнообразие климатов в разных частях области. На побережьях морей и на островах климат морской, а в 50-100 – километровой полосе вдоль побережий – умеренно-континентальный, во внутренней части области – резко континентальный.

Сезонная смена влияния океанов и материка, то есть муссонность является типичной для климата Магаданской области. Различная степень нагревания и охлаждения материка и океанов приводит к переменному образованию областей высокого и низкого давления.

Зимой над сушей образуется область повышенного давления, характеризующаяся малооблачной погодой и очень низкими температурами воздуха, а над океанами располагаются области пониженного давления с более теплыми влажными воздушными массами. Такое расположение барических

областей создает устойчивые холодные потоки, направленные с суши на море, образующие зимний муссон.

Летом расположение барических полей приблизительно обратное, то есть над нагретым Азиатским материком давление падает и образуется область низкого давления, а над океанами давление повышается, образуя область высокого давления. Указанное расположение барических полей обуславливает перемещение воздушных масс с более холодных океанов на сушу, образующее летний муссон.

Описанная атмосферная циркуляция и летом, и зимой создает особенно неблагоприятные условия на побережьях морей, где зимой действуют очень холодные континентальные потоки, ослабляющие тепляющее влияние моря, а летом – холодные морские воздушные массы, увеличивающие облачность, повторяемость туманов и осадков. Моря, которые омывают Магаданскую область с трех сторон, и муссонная циркуляция атмосферы оказывают определяющее влияние на распределение температуры воздуха по ее территории.

2.3 Опасные явления погоды характерные для аэропорта Магадан (Сокол)

Низкая облачность и плохая видимость в аэропорту Магадан (Сокол) наблюдаются круглый год. Связано это в основном с тем, что аэродром расположен на небольшом удалении от северного побережья Охотского моря и отличается муссонным климатом. В большей степени сложные условия погоды связаны с выносом тумана и низкой облачности с морской акватории Охотского моря юго-западными потоками летом, ливневыми осадками смешанного типа, метелями и дымкой в холодный период года, и в меньшей степени наблюдаются сложные условия за счет мороси и дыма при горении тайги и районов вблизи аэродрома Магадан (Сокол).

В данной работе рассмотрены сезоны года при которых наблюдаются опасные и сложные условия на аэродроме Магадан.

В летний период года в районе аэродрома наблюдается устойчивый поток воздуха с Охотского моря (здесь он осуществляется при юго-западном ветре), сопровождается появлением выносной облачности и тумана. В районе аэродрома низкая облачность и туманы не наблюдаются при сильных ветрах.

Туманы на аэродроме Магадан (Сокол) в основном наблюдаются с мая по сентябрь в ночные и утренние часы и составляет всего 1255 случаев за пятилетний период, что составило всего 1,9% от всех проанализированных сроков наблюдений. Переохлажденные (замерзающие) туманы чаще наблюдаются в переходные сезоны года в ночные и утренние часы. При средней скорости ветра 1-2 м/с или штиле.

Дымка наблюдается в течении всего года, а наибольший процент повторяемости отмечается с марта по октябрь, общее число случаев с дымкой за пятилетний период составило 1376 случаев, что от общего числа составляет 2,1%.

Морось выпадает из слоистой облачности с мая по сентябрь. Скорость ветра в основном наблюдается слабый до 3 м/с. Высота облачности менее 300 метров.

Грозы очень редкие явления в районе аэродрома. Они наблюдаются в основном с июня до половины сентября. В дневное и вечернее время. Повторяемость с грозой зафиксировано 39 случаев за наблюдаемый пятилетний период. Большинство случаев гроз – это внутримассовые грозы. Фронтальные грозы, для района аэродрома, характерны в случае хорошо выраженных и быстро смещающихся фронтов с севера. Если фронт смещается медленно, то при переваливании через горы и подходе к аэродрому кучево-дождевая облачность рассеивается и не достигает большой вертикальной протяженности.

Метели в аэропорту наблюдаются с октября по апрель. Ветер преимущественно северного или восточного направлений. Сильный ветер

наблюдается практически всегда. Повторяемость сильного ветра зафиксировано 2017 случаев за пятилетний период. Сильный ветер в летний период практически не отмечается.

В холодный сезон возникновение сильных ветров (12 м/с и более) в районе аэродрома Магадан (Сокол) связаны с выходом глубоких циклонов с Охотского моря или с района Камчатки (рисунок 2.4). Усиление ветров в теплое полугодие обуславливается смещением циклонов с запада на восток через бассейны рек Индигирки и Колымы (траектория I), через северную часть Охотского моря (траектория II и IV). В зимний период ветер усиливается также при местном циклогенезе в стационарной барической ложбине вдоль северного побережья Охотского моря, при этом скорость ветра не превышает 20 м/с.

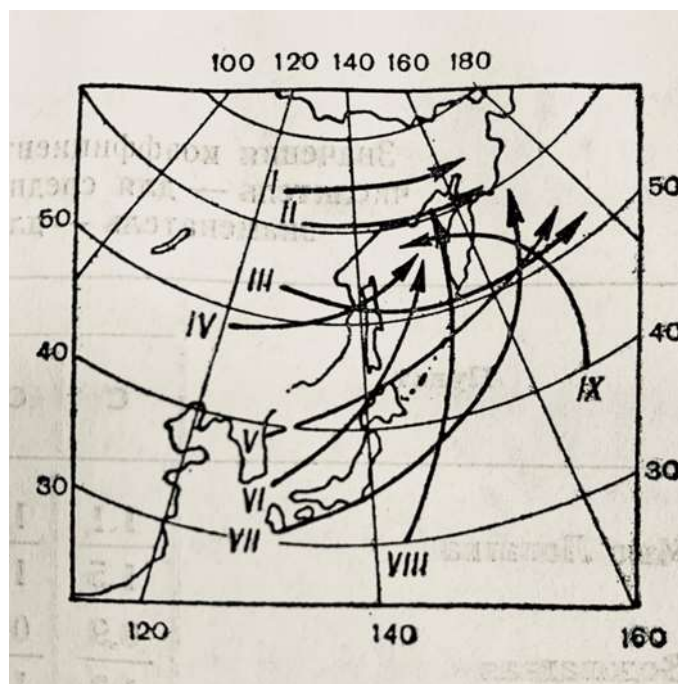


Рисунок 2.4 - Типовые траектории циклонов на северном побережье Охотского моря вызывающие штормовые ветра

Ливневые и обложные осадки (дождь, снег) отмечаются на протяжении всего года. Меньше всего снега отмечается в сентябре; дождь меньше всего наблюдается в ноябре. За пятилетний период отмечалось 3642 случая с

дождем, что от общего числа случаев составляет 5,5% и является преобладающим явлением в межсезонье и летний периоды. Число случаев со снегом составило 7122, что составляет 10,7% и является преобладающим на аэродроме Магадан (Сокол), с которым связано ухудшение видимости и образование сложных условий на аэродроме.

На северном побережье Охотского моря при наличии циклона или фронта осадки выпадают, когда на высотах наблюдаются южные потоки. При северных потоках обычно лишь при прохождении фронтов могут выпадать небольшие осадки. Морось из слоистой облачности в теплый период в основном наблюдается при западных потоках.

В теплый период сильные осадки в районе аэродрома Магадан (Сокол) обычно наблюдаются при южных ветрах в передней части высотной ложбины (циклона). Значительную роль при этом играют восходящие движения воздуха, вызванные орографией. Осадки в этих случаях могут выпадать и в заполняющихся циклонах и даже на периферии антициклонов и гребней.

В остальные времена года сильные осадки наблюдаются, когда на район аэродрома распространяется северная часть глубокого и часто обширного циклона, центр которого остается на севере Охотского моря. У поверхности Земли наблюдаются северо-восточные ветры, поворачивающие с высотой на южные.

Прекращение сильных осадков наблюдается при смене направления ветров на любое, кроме южного. Также если центр южного циклона пересекает побережье и выходит в районе реки Колыма.

В феврале в основном наблюдается ясная или малооблачная погода с выпадением обложного снега, не ухудшающим видимость. Также может отмечаться сильный ветер со снежным поземком.

Сдвиг ветра.

Наибольшее количество сдвига ветра отмечается с ноября по февраль. В среднем в декабре наибольшее количество случаев со сдвигом ветра – 31,

наименьшее количество в июне – 4 случая. В среднем за год отмечается 14 случаев со сдвигом ветра. Преобладающее направление ветра от 320° до 50°.

Турбулентность.

Наибольшее количество турбулентности (болтанки) отмечается с января по май и с сентября по декабрь. В среднем за год в районе аэродрома Магадан (Сокол) отмечается 26 случая с болтанкой. Максимальное число случаев с болтанкой наблюдается в декабре – 60, минимальное в июне – 10.

Обледенение.

Наибольшее количество обледенений отмечается с марта по май и с сентября по ноябрь, то есть в переходные сезоны года. В среднем в мае месяце наибольшее количество случаев с обледенением – 30. В среднем в июне наименьшее количество случаев с обледенением – 3 случая. Среднее количество случая за год с обледенением – 10.

3 ДАННЫЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ

Для проведения анализа опасных явлений погоды на аэродроме Магадан (Сокол) была использована информация

- сайта рп5 «Архив погоды» журнал АВ-6,
- сводки погоды журнал СП-12 и журнал бортовой погоды за 5 лет с 2019г. по 2023г. Эти журналы с данными погоды были предоставлены синоптиками авиационного метеорологического центра Магадан. Наблюдения погоды даны через каждые 30 минут по местному времени во время регламента работы аэропорта и каждый час вне регламента.

Всего в исследовании проанализированы результаты 66444 сроков наблюдений.

Данные включают в себя:

- температуру воздуха в градусах Цельсия;
- температуру точки росы в градусах Цельсия;
- скорость (средняя и максимальная) и направления ветра в градусах и м/с;
- давление на уровне моря и на уровне станции в мм.рт.ст.;
- влажность в %;
- облачность (количество, нижняя граница и форма облачности, но только кучево-дождевая или мощная кучевая облачности);
- видимость в километрах;
- явления погоды.

Из журнала бортовой погоды были выписаны опасные явления погоды при взлете и посадке на аэродроме Магадан (Сокол) – это турбулентность, обледенение и сдвиг ветра. Эти данные передаются с борта воздушного судна по средствам речевой связи через диспетчеров синоптикам.

Общее количество данных по бортовой погоде составило 2754 случая.

Были рассчитаны и проанализированы средние, максимальные и минимальные значения приведённых метеорологических величин.

Был сделан анализ метеорологических условий при опасных для авиации явлениях погоды на аэродроме Магадан (Сокол).

4 АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ НА АЭРОДРОМЕ МАГАДАН (СОКОЛ)

При анализе данных с опасными явлениями погоды в районе аэродрома Магадан (Сокол) было выявлено, что наиболее частыми и влияющими на производство полётов являются такие явления как:

- снег,
- дождь,
- туман,
- дымка,
- низкая облачность,
- метель,
- сдвиг ветра,
- турбулентность,
- обледенение.

Наиболее редкими опасными явлениями являются:

- грозы,
- дым,
- морозящие осадки.

В этой работе проанализированы все выше перечисленные опасные метеорологические явления погоды кроме сдвига ветра, турбулентности и обледенения, а также низкой облачности.

4.1 Грозы

4.1.1 Годовой ход повторяемости

За исследуемый период с 2019 по 2023 гг. в районе аэропорта Магадан (Сокол) наблюдалось 39 случаев с грозой. Грозовая деятельность развивается только в теплый период, в основном с июня до середины сентября.

Грозы возникают преимущественно после полудня – в дневное и вечернее время.

Большинство случаев гроз – это внутримассовые грозы. Они развиваются при следующих синоптических условиях:

- когда над районом аэродрома располагается малоградиентное поле пониженного давления или барическая депрессия,
- в слабовыраженных и заполняющихся циклонах,
- иногда в теплых секторах циклонов, на западных окраинах антициклонов.

Также необходимо наличие влажной неустойчивой воздушной массы при удельной влажности в приземном слое >12 г/кг и сильный дневной прогрев подстилающей поверхности.

Фронтальные грозы, для района аэродрома, характерны в случае хорошо выраженных и быстро смещающихся с севера фронтов (рисунок 4.5). Если фронт смещается медленно, то при переваливании через горы и подходе к аэродрому кучево-дождевая облачность рассеивается и не достигает большой вертикальной протяженности.

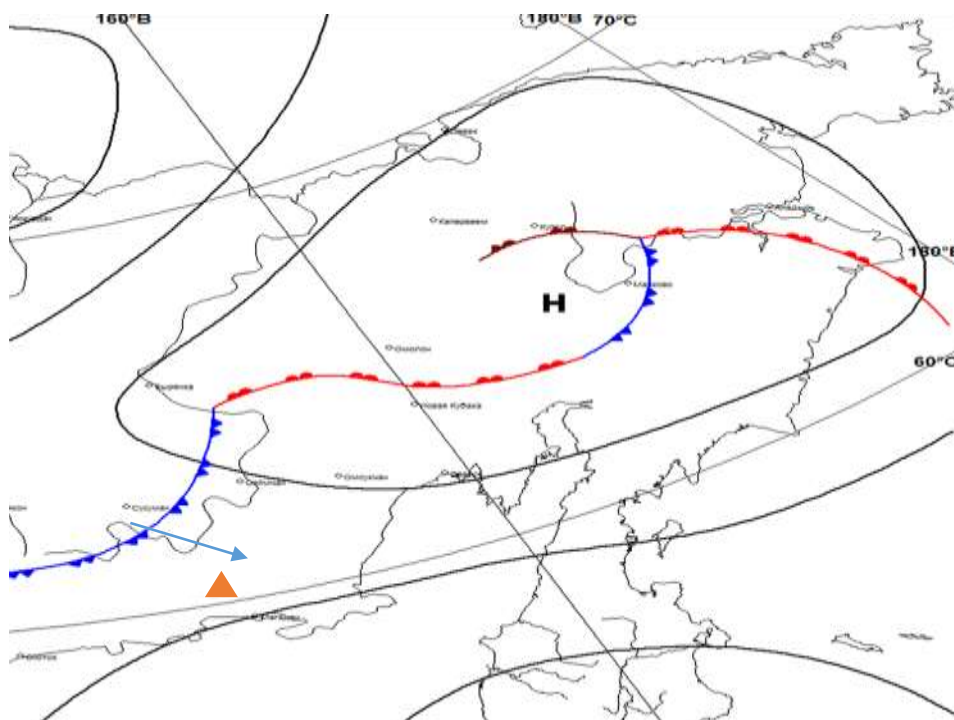


Рисунок 4.5 – Смещающийся с севера холодный фронт в район аэродрома
Магадан (Сокол)

На рисунке 4.6 представлена диаграмма повторяемости гроз в аэропорту Сокол. Как видно из графика наибольшее число гроз наблюдалось в 2021 году – 16 случаев – это составляет 41%. В 2020 году грозы на аэродроме не отмечались. Так как на аэродроме Магадан (Сокол) нет специальной установки для обнаружения грозových очагов (метеорологические радары) на расстоянии, то грозы могут обходить аэродром с разных сторон света и наблюдаться на некотором удалении от аэродрома, но отмечаться данное явление не будет в погоде. Также по анализу данных можно увидеть, что количества дыма в этом году было максимальным, что влияет на температуру прогрева атмосферы и земной поверхности, создавая некую завесу для солнечных лучей, что препятствует развитию конвективных облаков.

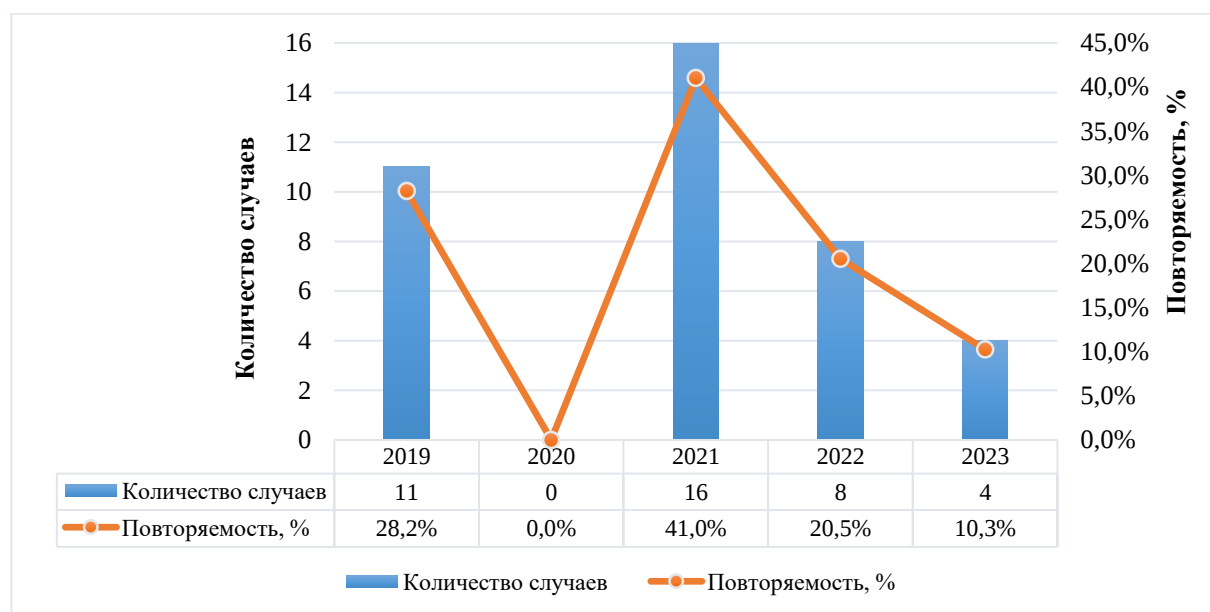


Рисунок 4.6 – Диаграмма повторяемости гроз в аэропорту Сокол

При анализе зависимости грозовой деятельности от месяца было выявлено, что в июле наблюдается наибольшая повторяемость гроз – 17

случаев, что составляет 43,6%. Наименьшее количество гроз в сентябре 3 случая – это 7,7% (рисунок 4.7).

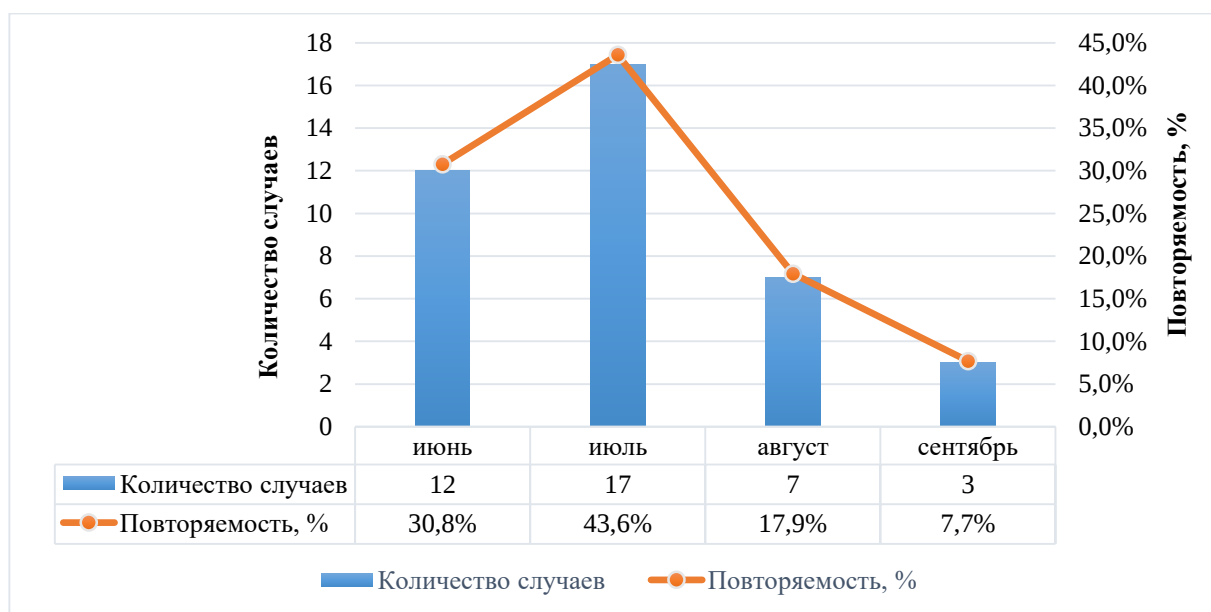


Рисунок 4.7 – Внутригодовое распределение гроз в аэропорту Сокол

Грозы для авиации опасны не только своими электрическими разрядами, но и ухудшением видимости. На графике рисунка 4.8 представлен годовой ход видимости при грозе, грозе с осадками и явлениями погоды, такими как дымка. По графику видно, что было 9 случаев гроз с видимостью 10 км. При грозе с осадками (такими как дождь) видимость ухудшалась до 5 км, но наибольшее количество случаев – 16 отмечается с видимостью 10 км. Гроза с дождем и дымкой отмечалась 3 раза, при этом видимость ухудшалась до 3,4 км.

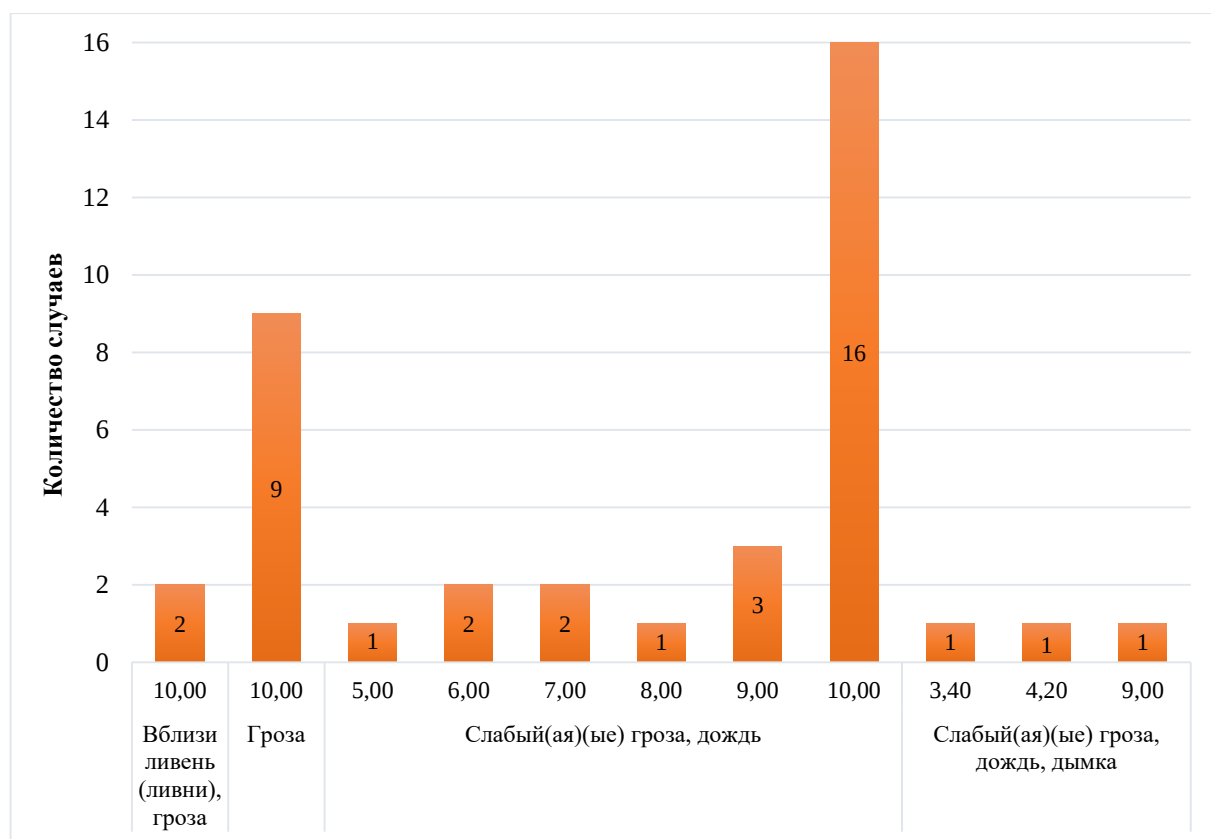


Рисунок 4.8 – Видимость при грозах в аэропорту Сокол

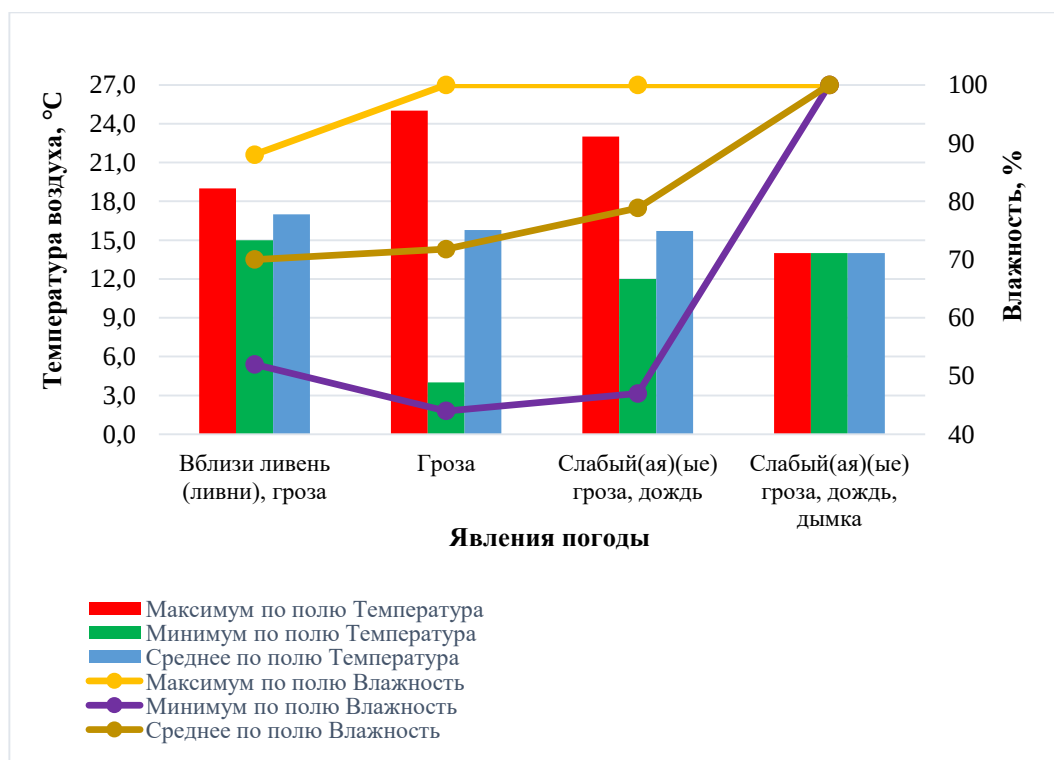


Рисунок 4.9 – Температура и влажность воздуха при грозе и грозе с осадками

Были проанализированы метеорологические характеристики при грозах.

Максимальная температура воздуха при грозе за весь период составляет +25,0°C; минимальная температура +4,0°C; средняя температура +15,7°C.

Минимальная влажность при грозе за весь период 44%, максимальная 100%, средняя влажность составляет 78%.

На графике рисунка 4.10 представлен годовой ход видимости и ветра при грозе с осадками и явлениями погоды. При анализе графика можно сделать вывод о том, что максимальная скорость при грозе с осадками составляет 13 м/с. Средняя скорость ветра при грозе и грозе с осадками и явлениями наблюдается в пределах 2-4 м/с.

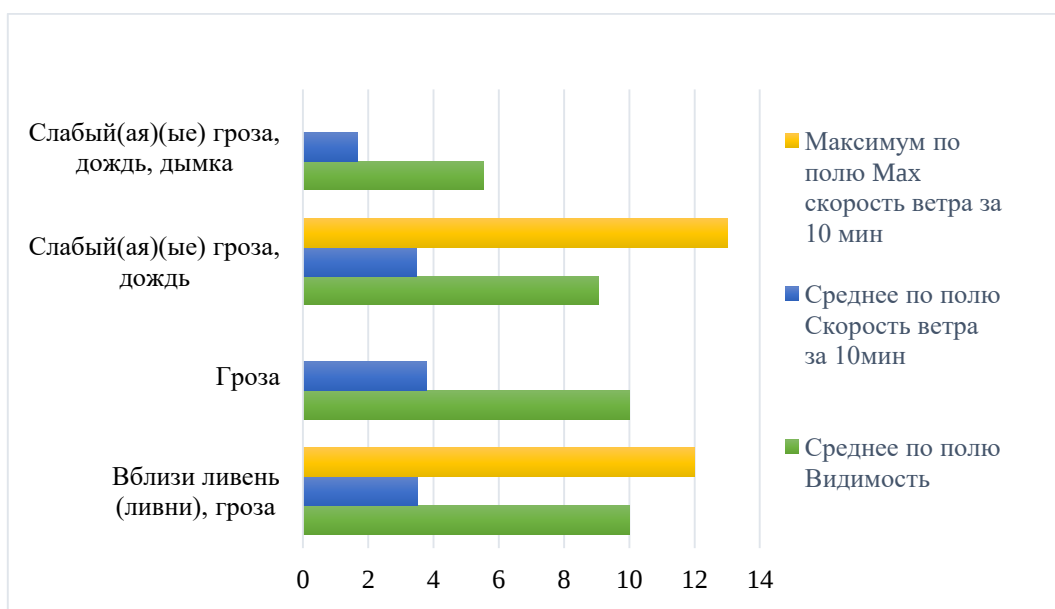


Рисунок 4.10 – Видимость и ветер при грозе в аэропорту Сокол

4.2 Дым

Дым является важным опасным явлением погоды для аэропорта Сокол. За исследуемый период с 2019 по 2023 гг. в районе аэропорта Магадан (Сокол) наблюдалось 185 случаев с дымом. Такое количество случаев связано с лесными пожарами, которые возникли из-за человеческого фактора в

Магаданской области, а именно в аэропорту Магадан (Сокол) и восточной части Якутии в 2020 году.

4.2.1 Годовой ход явлений, связанных с дымом

На диаграмме рисунка 4.11 представлена диаграмма повторяемости случаев дыма в аэропорту Сокол.

Как видно из диаграммы наибольшее количество случаев дыма наблюдается в 2020 году – 108 случаев – это составляет 58,4%.

В 2019 году дыма не наблюдалось.

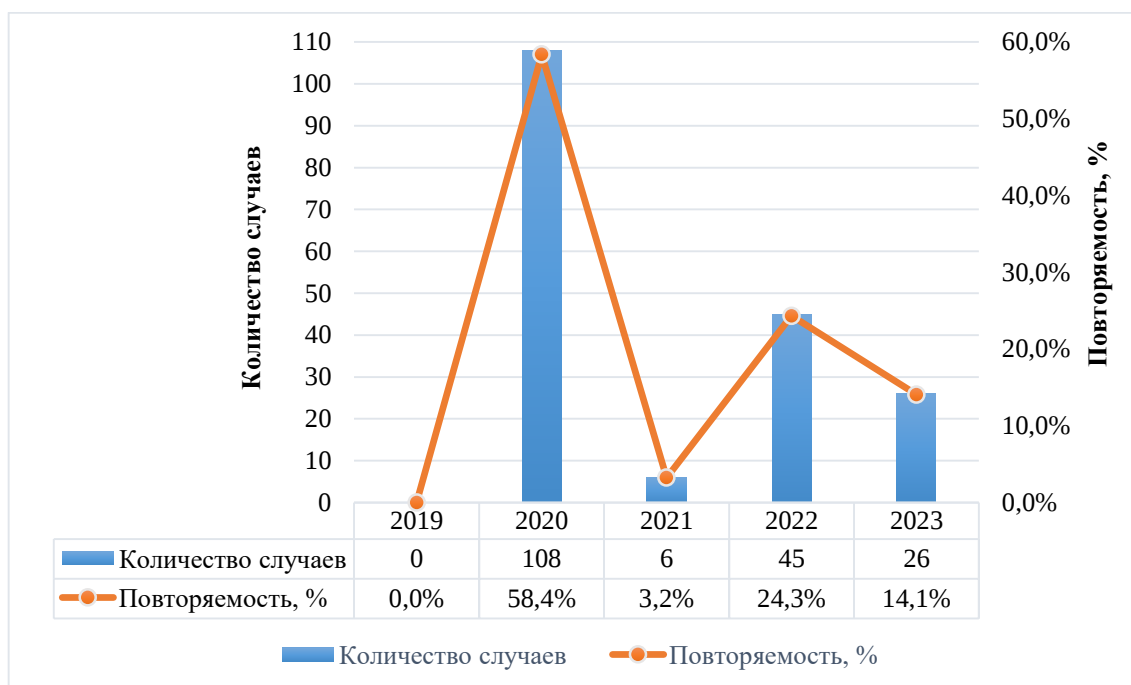


Рисунок 4.11 – Повторяемость случаев дыма в аэропорту Сокол за 2019-2023 гг.

Такие явления как грозы и дым довольно редкие на аэродроме Магадан (Сокол), и дым в большей степени связан с человеческим фактором, но условия для их образования имеют некоторые общие черты, а именно температурный фактор. По графику рисунка 4.12 можно увидеть, что минимальное число повторений гроз на аэродроме Магадан (Сокол) в тот период, когда дыма максимальное число случаев, гроз минимальное.

Следовательно, грозовая деятельность, которая связана с выпадением осадков, способствует уменьшению числа пожаров и уменьшению дыма.

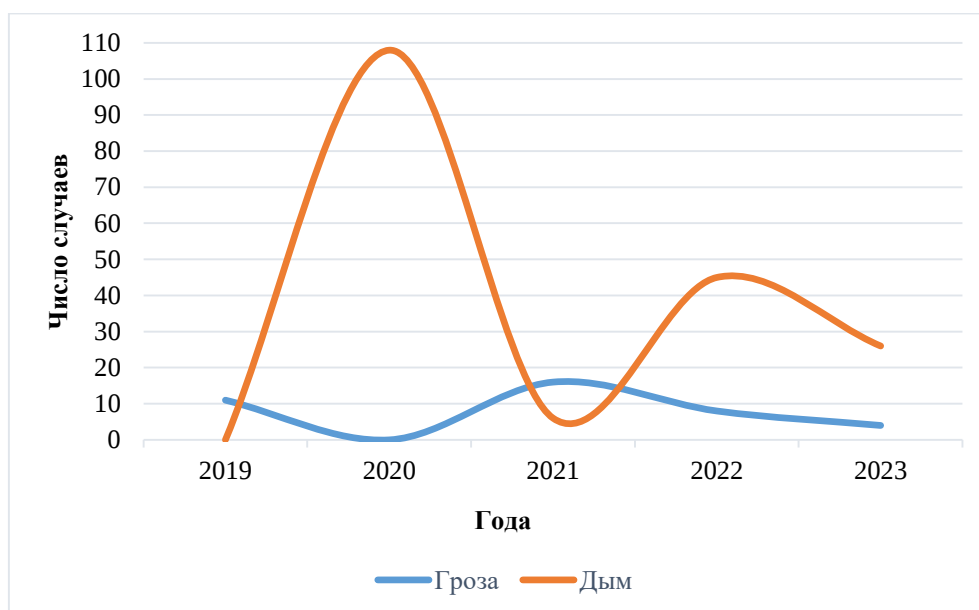


Рисунок 4.12 – Число случаев с грозой и дымом в аэропорту Сокол за 2019-2023 гг.

В сентябре наблюдается наибольшая повторяемость дыма – 103 случая, что составляет 55,7%. Наименьшее количество дыма в январе и октябре – 2 и 5 случая – это 1,1% и 2,7%. Это проиллюстрировано диаграммой рисунка 4.13.

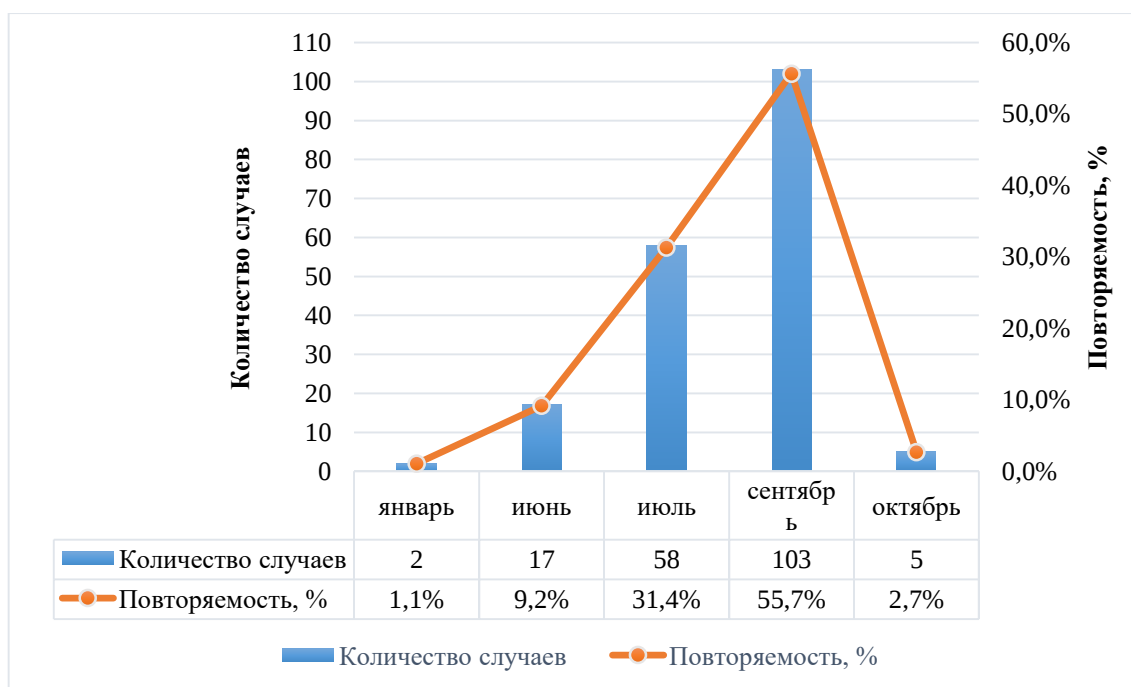


Рисунок 4.13 – Годовое распределение дыма в аэропорту Сокол за 2019-2023 гг.

Часто на метеорологической станции фиксируется не только дым, но и дым с сопровождающими его явлениями. Информация о сопровождающих дым явлениях представлена в таблице 4.1. В этой же таблице приведены значения видимости при комбинации различных явлениях с дымом.

На графике рисунка 4.14 представлен годовой ход видимости при дыме и дыме с явлениями погоды – это дымка и туман. Как видно из графика и таблицы 4.1 наибольшее количество повторяемости у явления «дым» 106 случаев – это составляет 68,3%. 43 раза дым наблюдался при видимости 5 км – это 27,7%.

32 раза наблюдался дым с дымкой – это 20,7%. Наибольшее количество раз наблюдались дым с дымкой при видимости от 2,0 до 2,9 км.

Таблица 4.1 – Видимость при случаях дыма

Явления	Количество видимости						Всего
Дым	2	16	14	8	23	43	106
Дым, дымка	0	8	10	7	3	4	32
Дым, туман	7	0	0	0	0	0	7
Дым, замерзающий (переохлажденный) туман	8	0	0	0	0	0	8
Дым, частичный (охватывающий часть аэродрома) туман	0	2	0	0	0	0	2
Видимость, км	0,1- 0,9	1,0- 1,9	2,0- 2,9	3,0- 3,9	4,0- 4,9	5,0	155

17 случаев был дым с туманом, в том числе переохлажденным и частичным, что составляет 11,0% от общей суммы. 15 случаев из 17 было дым с туманом и переохлажденным туманом, что составляет 9,7%.

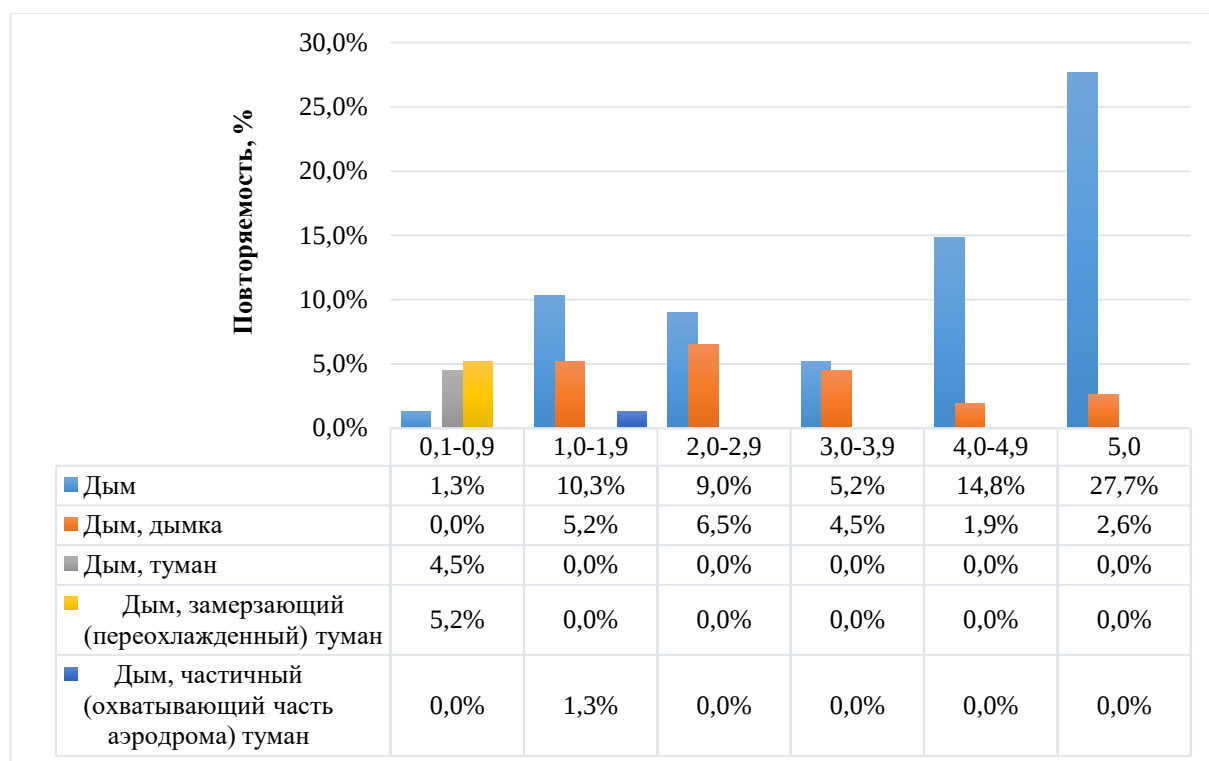


Рисунок 4.14 – Видимость при дыме

На графике рисунка 4.14 повторяемость видимости 5 км и более при дыме составила 27,7% – это 43 случая, при градации видимости от 4 до 4,9 км повторяемость составила 14,8% – это 23 случая, при градации видимости от 1 до 1,9 км повторяемость составила 10,3%, число случаев составило около 16. С минимальной повторяемостью 1-5% дым наблюдался при видимости в градациях 3-3,9 км и менее 1 км.

Повторяемость дыма в сочетании с туманом составила 4,5% наблюдалось всего 7 случаев за пятилетний период.

Повторяемость дыма в сочетании с переохлажденным туманом составила 5,2% наблюдалось всего 8 случаев за пятилетний период.

Максимальная повторяемость дыма в сочетании с дымкой составила от 5% до 7% за пятилетний период, ухудшение видимости наблюдалось от 1 до 3,9 км за пятилетний период число случаев составило 25.

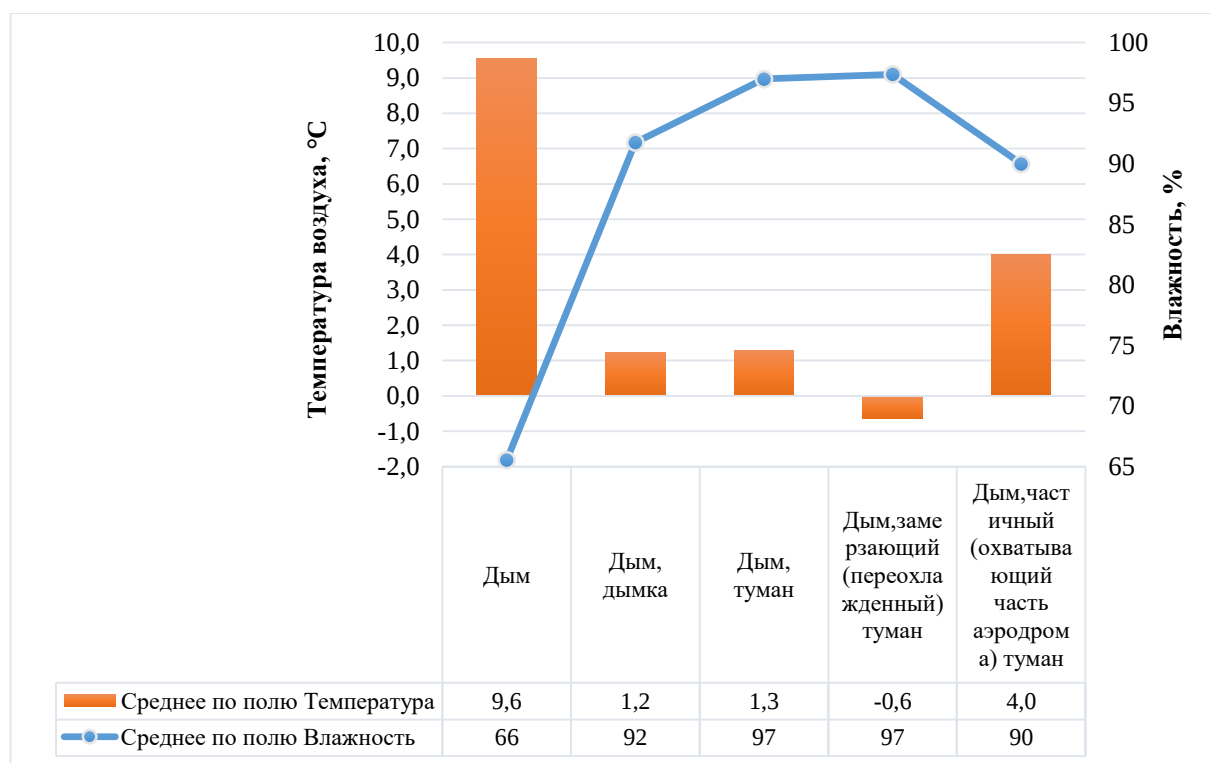


Рисунок 4.15 – Средние значения температуры воздуха и влажности при дыме

На графике рисунка 4.15 представлены диаграммы средней температуры и средней влажности воздуха при дыме за исследуемый период с 2019 по 2023гг. По графику видно, что дым наблюдался при средней влажности 66%. Минимальная влажность при дыме отмечается 29%, максимальная 100%. Средняя температура воздуха составляет 9,6°C.

При дыме с дымкой средняя влажность – 92%. Минимальная влажность 76%, максимальная -100%. Средняя температура воздуха составляет 1,2°C.

При дыме с туманом средняя влажность 97%. Минимальная влажность 93%, максимальная 100%. Средняя температура воздуха 1,6°C.

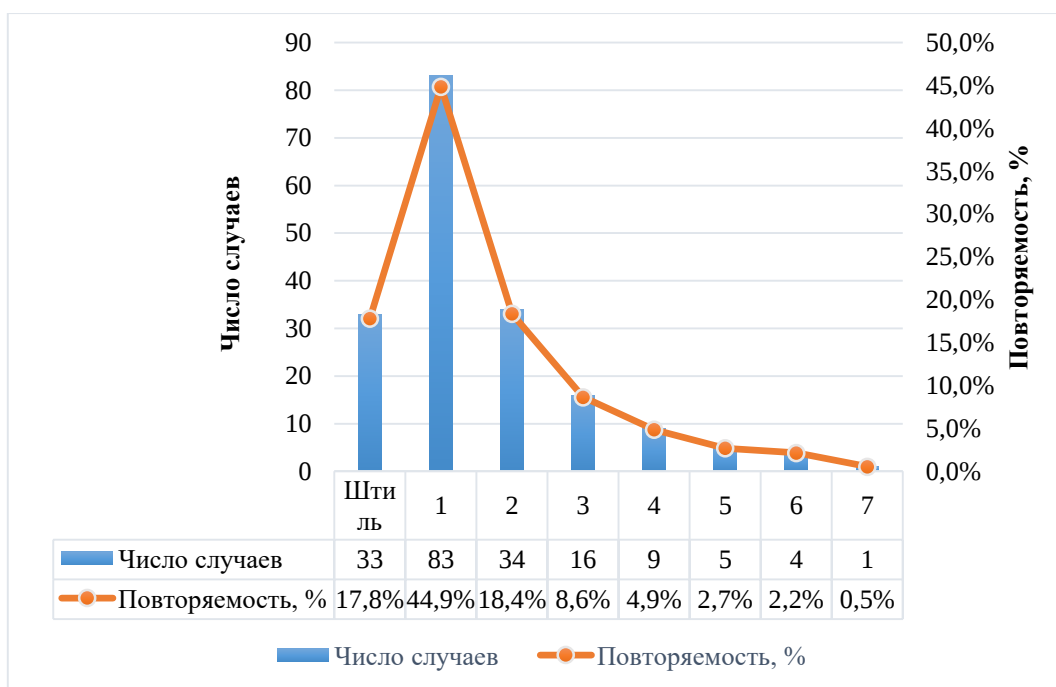


Рисунок 4.16 – Повторяемость средней скорости ветра в аэропорту Сокол при дyme

На графике рисунка 4.16 на аэродроме Магадан (Сокол) дым наблюдался при средней скорости ветра 1-4 м/с или штиль. При штиле дым отмечался 33 раза, что составляет 17,8%. При скорости 1 м/с наблюдалось 83 случая с повторяемостью 44,9%, с минимальными значениями повторяемости наблюдался дым при ветре 5-7 м/с.

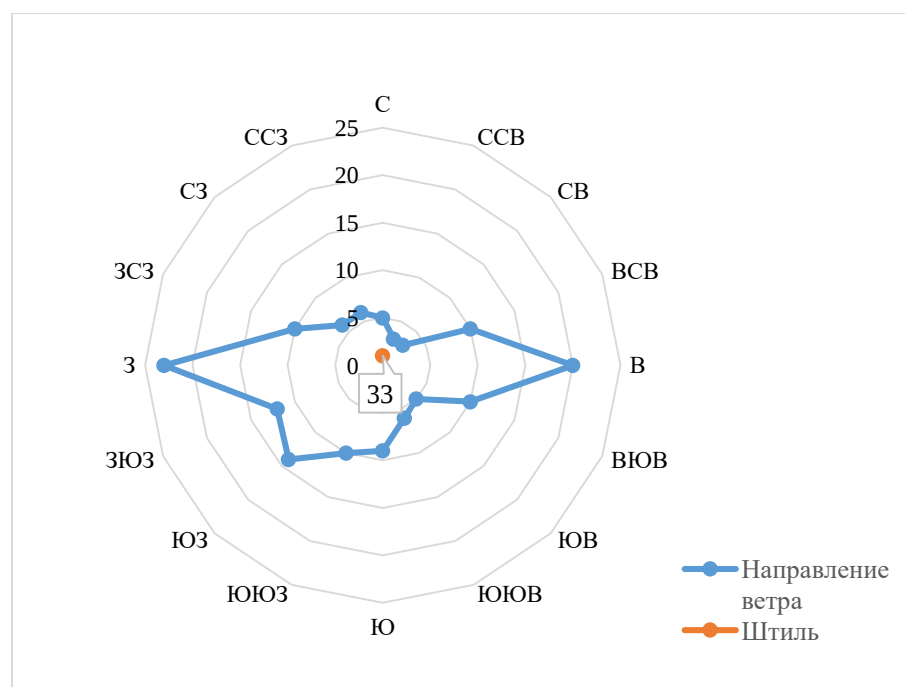


Рисунок 4.17 – Роза ветров при дыме на аэродроме Сокол

На графике рисунка 4.17 представлена роза ветров при наблюдении дыма за период 2019-2023 гг. Анализ условий появления дыма в зависимости от направления и скорости ветра показал, что благоприятные условия для дыма являются 0-1 м/с при западном, юго-западном и восточном направлениями ветра, реже с северным, юго-восточным.

4.3 Туман

4.3.1 Годовой ход повторяемости тумана

За исследуемый период с 2019 по 2023 гг. в районе аэропорта Магадан (Сокол) наблюдалось 1255 случаев с туманом. Любая летняя ситуация, при которой в районе аэродрома наблюдается устойчивый поток воздуха с моря (здесь он осуществляется при юго-западном ветре), сопровождается появлением выносной облачности и тумана. В районе аэродрома низкая облачность и туманы не наблюдаются при сильных ветрах. Туманы на аэродроме Магадан (Сокол) в основном наблюдаются с мая по сентябрь – это видно по предоставленной ниже гистограмме – в ночные и утренние часы.

Переохлажденные (замерзающие) туманы чаще наблюдаются в переходные сезоны года. При средней скорости ветра 1-2 м/с или тихо (штиль).

На диаграмме рисунка 4.18 представлена диаграмма повторяемости тумана в аэропорту Сокол. Наибольшее количество тумана наблюдалось в 2021 году, что составляет 300 случаев – это 23,9%. Наименьшее количество в 2019 году – 217 случаев, что составляет 17,3%.

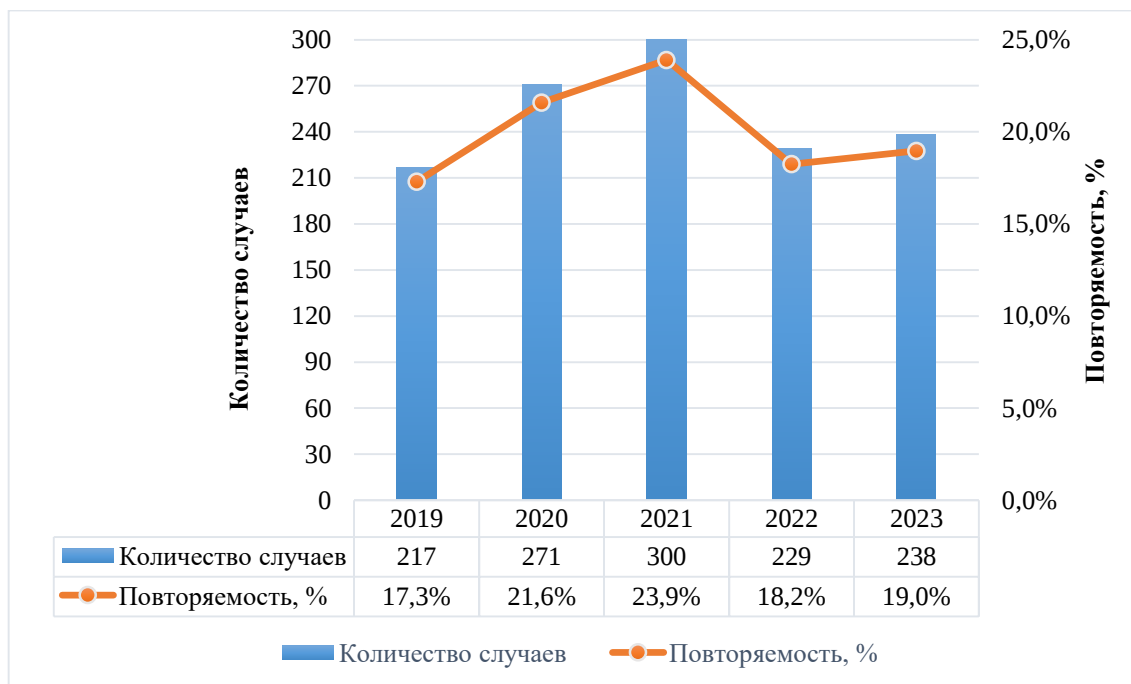


Рисунок 4.18 – Повторяемость случаев тумана в аэропорту Сокол за 2019-2023 гг.

На диаграмме рисунка 4.19 представлено годовое распределение тумана в аэропорту Сокол. Как видно из диаграммы максимальная повторяемость тумана наблюдается июнь-июль. На июнь приходится 281 случай – это 22,4%, а на июль 272 случая, что составляет 21,7%. Наименьшее количество отмечается в феврале-марте по 2 случая – это 0,2%.

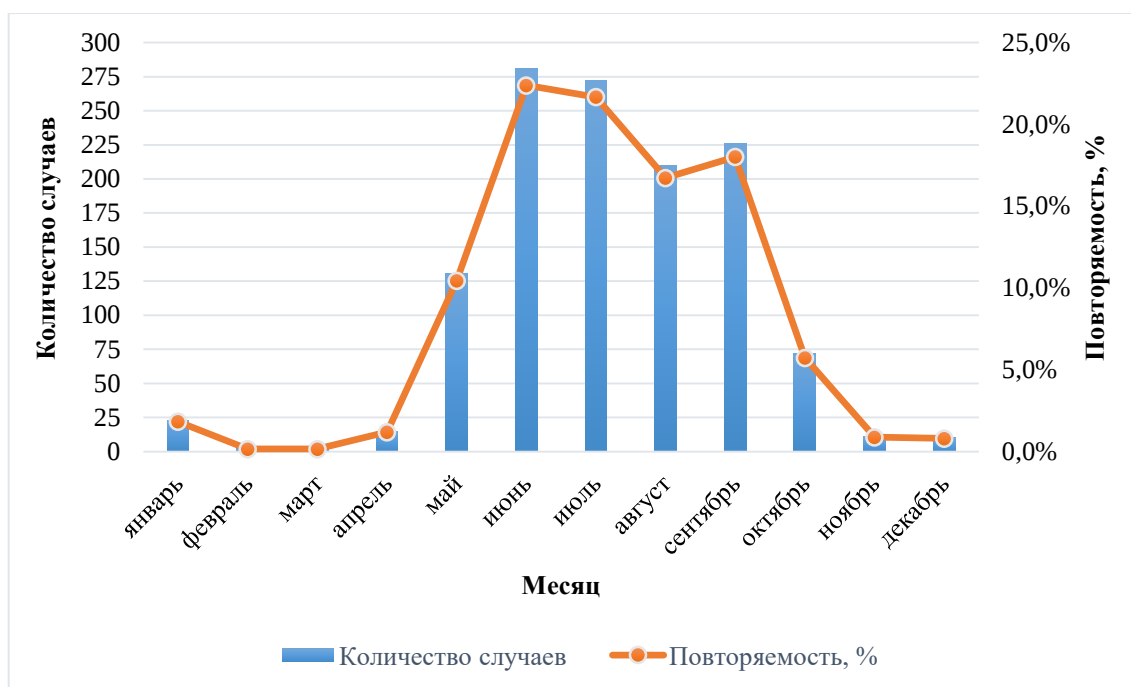


Рисунок 4.19 – Годовое распределение тумана в аэропорту Сокол за 2019-2023 гг.



Рисунок 4.20 – Повторяемость разных видов тумана

На рисунке 4.20 представлена круговая диаграмма повторяемости разных видов тумана. При анализе данных с туманом было выделено, что за 5

лет 531 случай наблюдались с туманом при видимости менее 1000 метров. 689 раз было, когда отмечался разный вид тумана, то есть замерзающий, клочьями, частичный, поземный и вблизи, при видимости от 100 до 10000 метров. И 22 случая приходится на туман с осадками, в том числе ливневого и морсящего характеров.

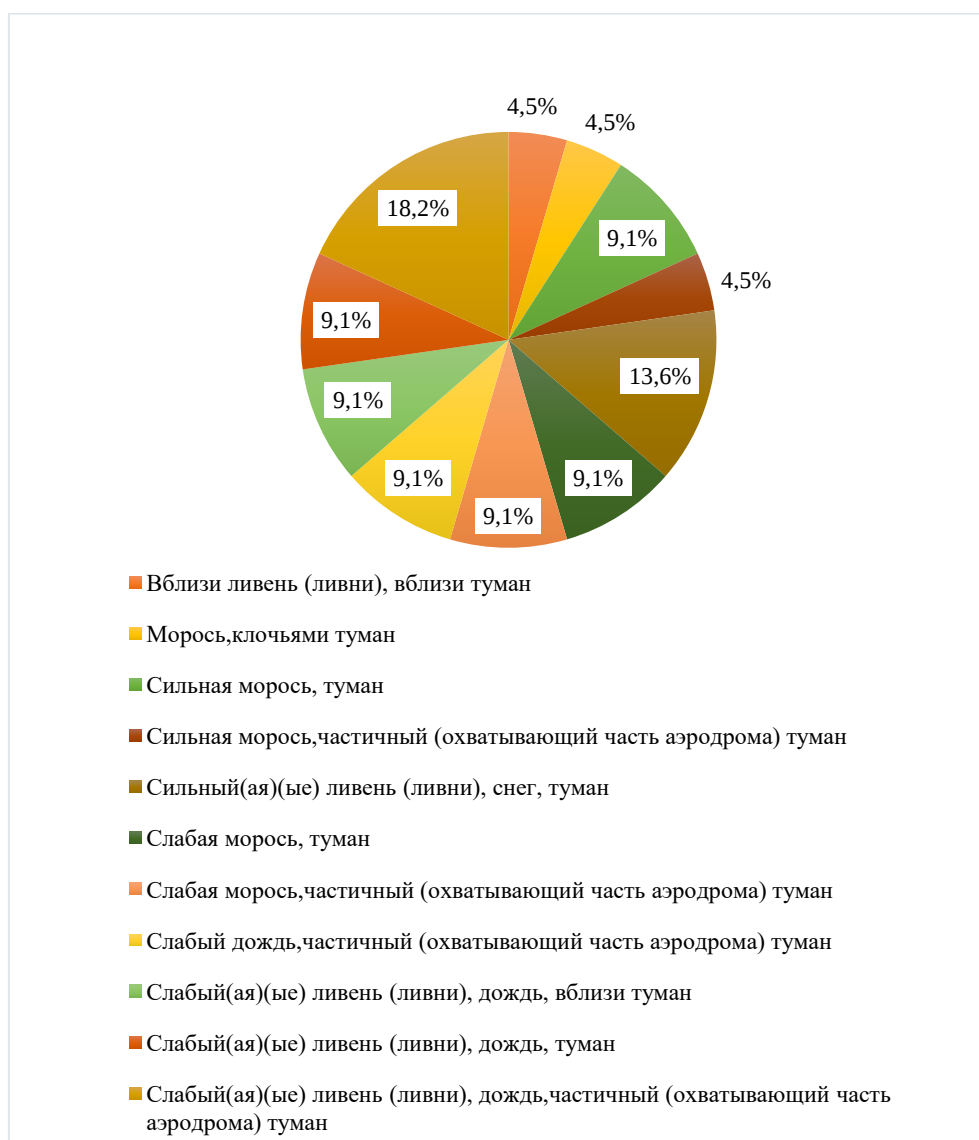


Рисунок 4.21 – Повторяемость тумана с осадками

На рисунке 4.21 представлена круговая диаграмма повторяемости тумана с осадками. При анализе данных с туманом и осадками было выделено, что за 5 лет 8 случаев приходится на морсящие осадки, что составляет 36,3%.

12 случаев, когда туман наблюдается с ливневым дождем – это 54,5%.
Обложной дождь с туманом отмечается всего лишь 2 раза и это 9,2%.

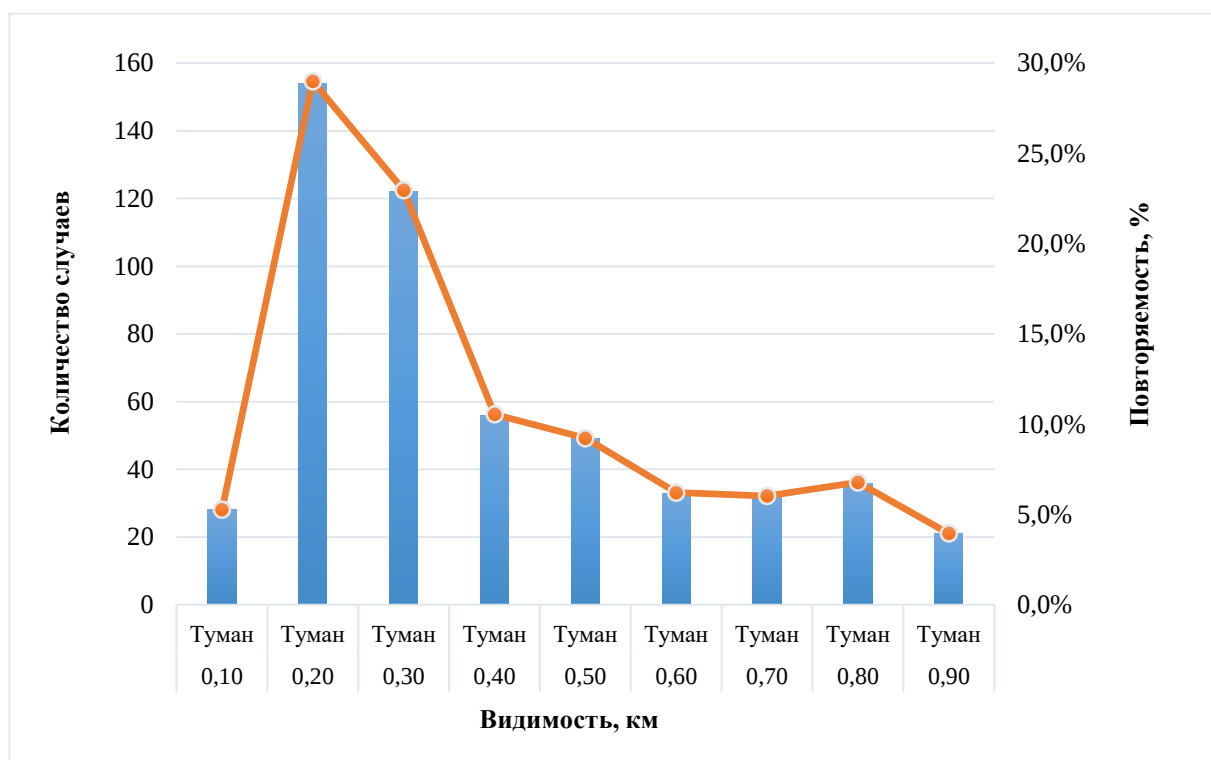


Рисунок 4.22 – Видимость при тумане

На графике рисунка 4.22 представлена гистограмма видимости при тумане. По гистограмме видно, что за 5 лет наибольшее количество раз тумана повторялось при видимости 200-300 метров. Это составляет 154 и 122 случая, что показывает 29% и 23% соответственно. Наименьшее количество раз наблюдалось при видимости 900 метров, что составляет 21 случай и это 4%.

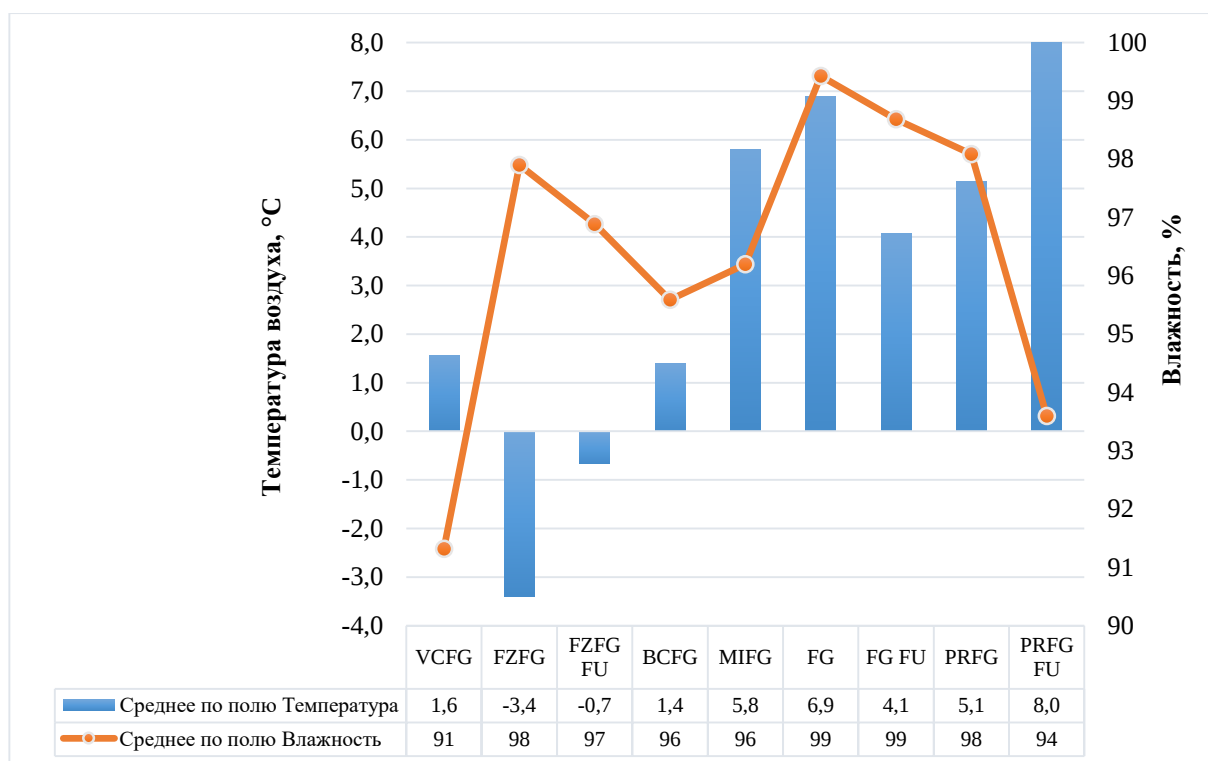


Рисунок 4.23 – Средние значения температуры воздуха и влажности при тумане

На графике рисунка 4.23 представлена диаграмма средней температуры и средней влажности воздуха при тумане за исследуемый период 2019-2023 гг. По графику видно, что средняя влажность туманообразования наблюдается в пределах 91-99%. Средняя температура воздуха, при которой отмечается туман от $-3,4^{\circ}\text{C}$ до $8,0^{\circ}\text{C}$.

Минимальная влажность при образовании тумана вблизи аэродрома отмечается 63%, при образовании замерзающего (переохлажденного) тумана минимальная влажность составляет 80%. При образовании тумана на аэродроме минимальная влажность составляет 93%. Максимальная влажность у разных видов тумана является 100%.

Минимальная температура, при которой отмечается туман -43°C , максимальная $+17^{\circ}\text{C}$.



Рисунок 4.24 – Повторяемость средней скорости ветра при разных видах тумана в аэропорту Сокол за период 2019-2023 гг.

За исследуемый период с 2019 по 2023 гг. по графику видно, что при любом виде тумана наибольшее количество повторяемости ветра составляет 1 м/с – это количество составляет 643 раза от общей суммы в 1203 раза. Когда туман наблюдался при скорости ветра 0 м/с, то есть ветер тихо или штиль – это составляет 327 раз. Оставшееся количество 233 приходится, когда средняя скорость ветра была 2-4 м/с. Об этом иллюстрирует рисунок с графиком 4.24.

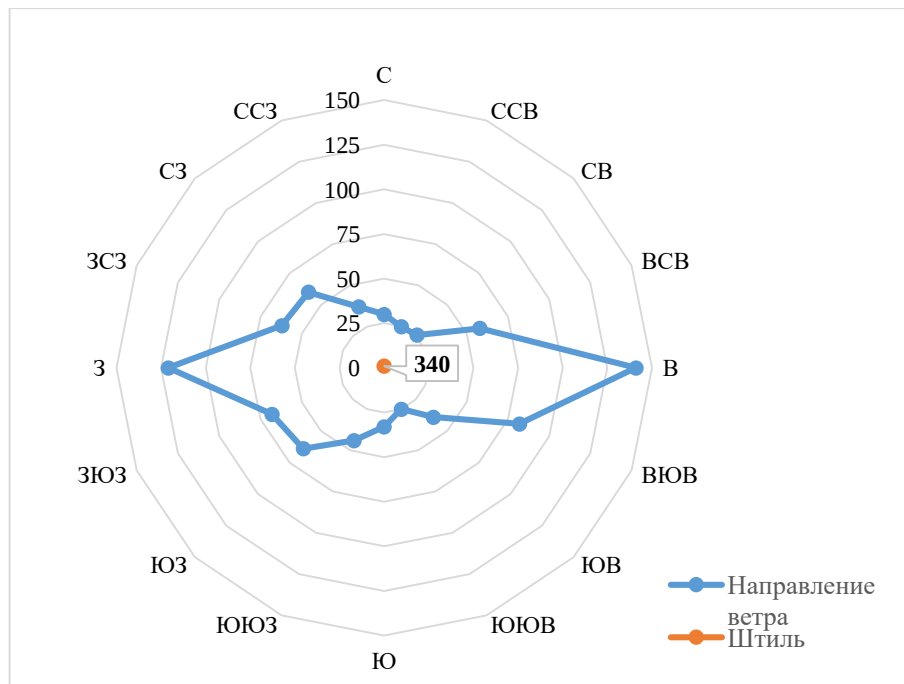


Рисунок 4.25 – Роза ветров при тумане на аэродроме Сокол

На графике рисунка 4.25 представлена роза ветров при наблюдении тумана за период 2019-2023 гг. Анализ условий появления тумана в зависимости от направления и скорости ветра показал, что благоприятные условия для тумана являются 0-1 м/с при западном и восточном направлениями ветра, реже с северным – северо-восточным и юго-юго-восточным.

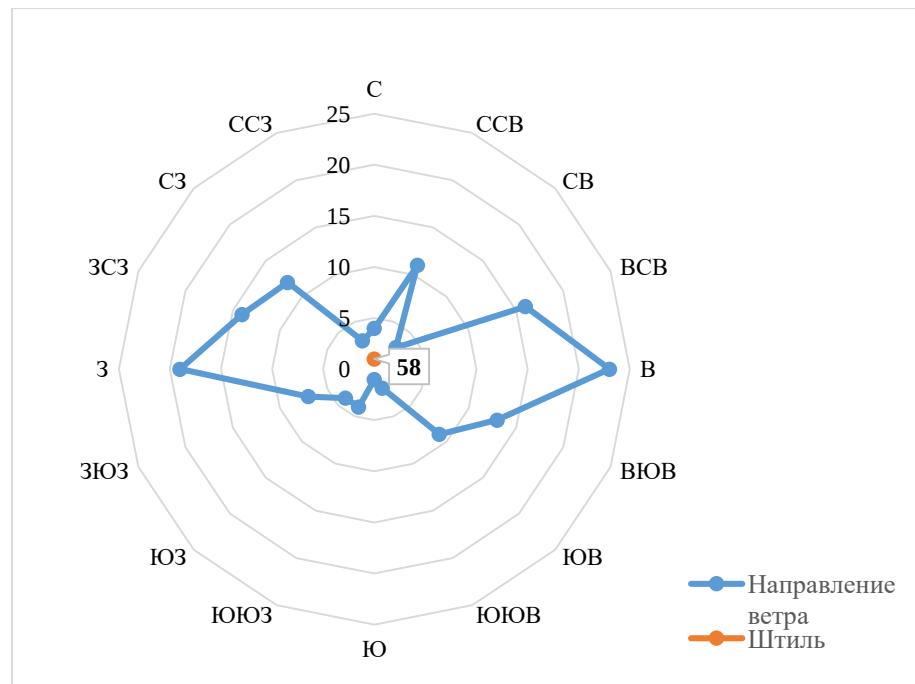


Рисунок 4.26 – Роза ветров при тумане вблизи на аэродроме Сокол

На графике рисунка 4.26 представлена роза ветров при наблюдении тумана вблизи за период 2019-2023 гг. Анализ условий появления тумана вблизи в зависимости от направления и скорости ветра показал, что благоприятные условия для тумана вблизи являются 0-1 м/с при западном и восточном направлениями ветра, реже с северным – северо-восточным и юго-восточным – западо-юго-западным.

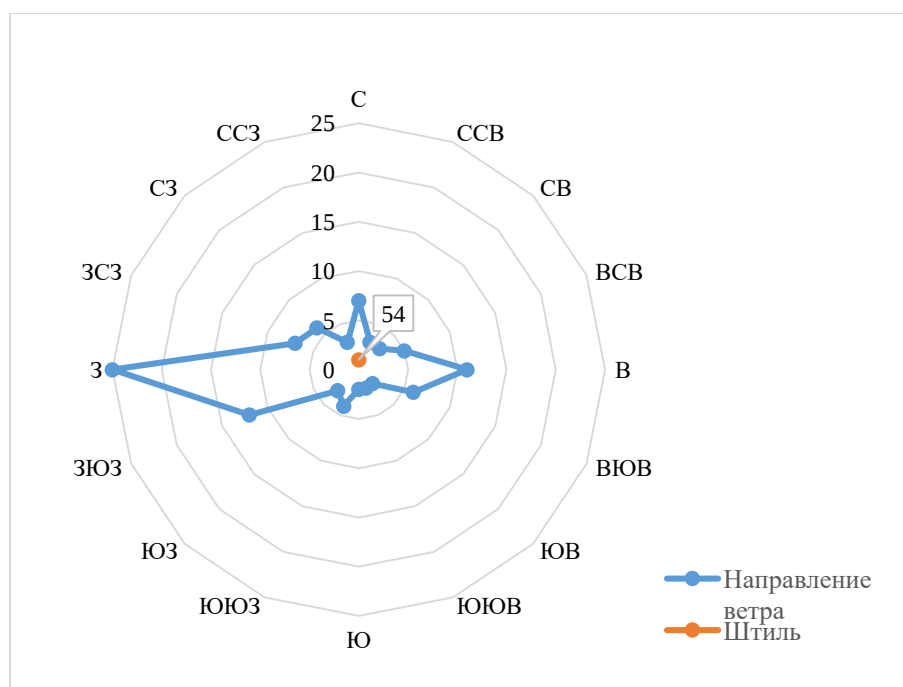


Рисунок 4.27 – Роза ветров при замерзающем (переохлажденном) тумане на аэродроме Сокол

На графике рисунка 4.27 представлена роза ветров при наблюдении замерзающего тумана за период 2019-2023 гг. Анализ условий появления замерзающего тумана в зависимости от направления и скорости ветра показал, что благоприятные условия для замерзающего тумана являются 0-1 м/с в основном при западном направлении ветра, чуть меньше при западо-юго-западном и восточного направлениями.

На графике рисунка 4.28 представлена роза ветров при наблюдении тумана вблизи за период 2019-2023 гг. Анализ условий появления тумана клочьями в зависимости от направления и скорости ветра показал, что благоприятные условия для тумана клочьями являются 0-1 м/с при восточном направлении ветра, реже все остальные направления.

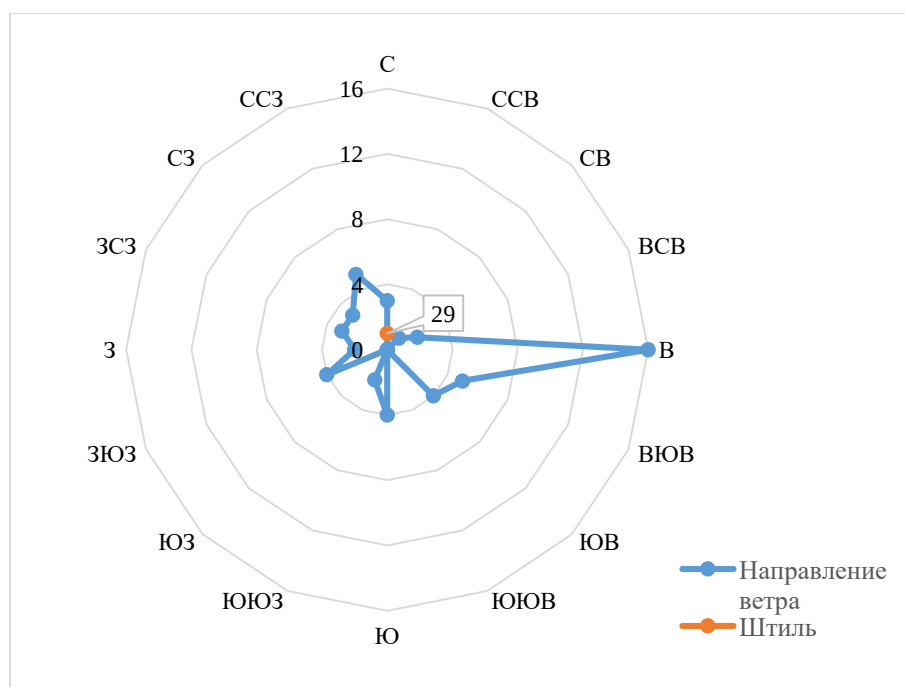


Рисунок 4.28 – Роза ветров при тумане ключьями на аэродроме Сокол

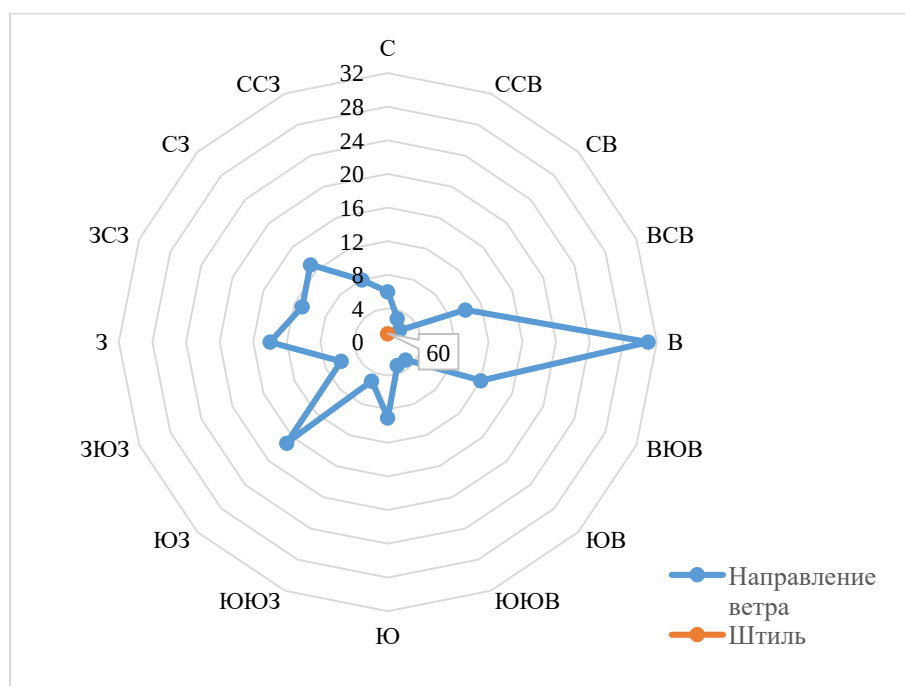


Рисунок 4.29 – Роза ветров при частичном тумане на аэродроме Сокол

На графике рисунка 4.29 представлена роза ветров при наблюдении частичного тумана за период 2019-2023 гг. Анализ условий появления частичного тумана в зависимости от направления и скорости ветра показал,

что благоприятные условия для тумана вблизи являются 0-1 м/с при восточном направлении ветра, реже юго-западном, западном и северо-западном направлениями.

4.4 Морось

4.4.1 Годовой ход повторяемости мороси

За исследуемый период с 2019 по 2023 гг. в районе аэропорта Магадан (Сокол) наблюдалось 229 случаев с моросью.

Как видно из рисунка диаграммы 4.30 наибольшее количество мороси наблюдалось в 2019 году, что составляет 81 случай – это 35,4%. Наименьшее количество в 2022 году – 20 случаев, что составляет 8,7%.

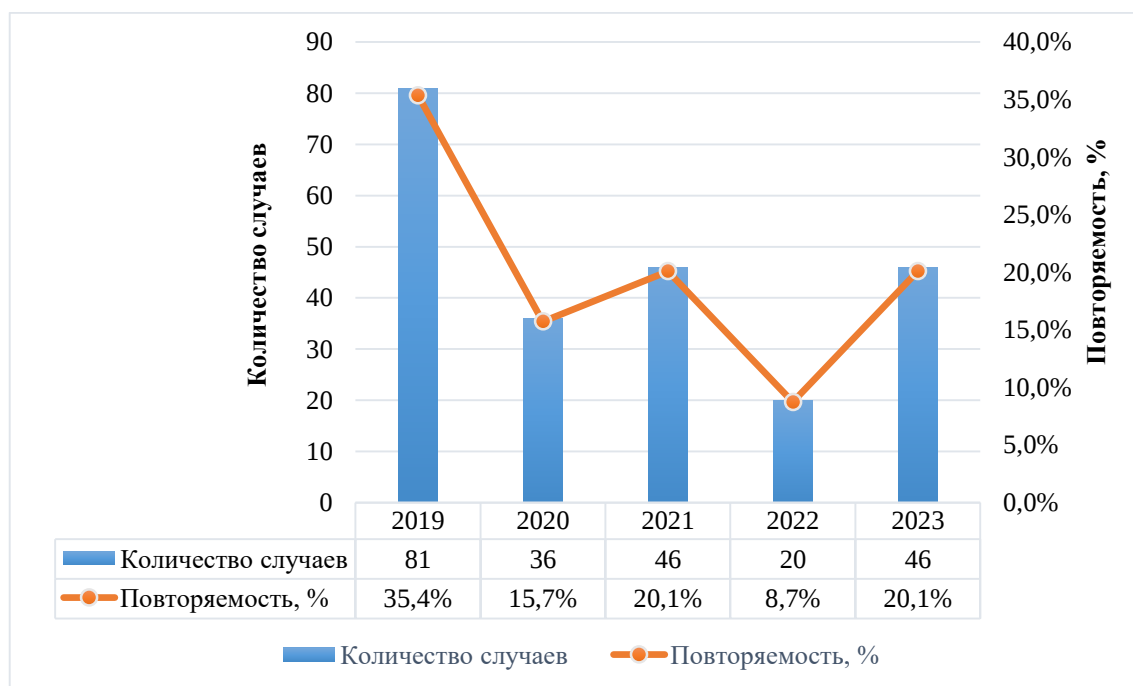


Рисунок 4.30 – Повторяемость случаев мороси в аэропорту Сокол за 2019-2023 гг.

Морось на аэродроме Магадан (Сокол) в основном наблюдается с мая по сентябрь – это видно по предоставленной ниже гистограмме (рисунок 4.31), при средней скорости ветра 1-2 м/с. Максимум повторяемости мороси

наблюдается июль-август, что составляет 75 и 61 случай – это 32,8% и 26,6%. Минимальное количество мороси отмечается в мае и составляет 27 случаев – это приходится на 11,8% от общего количества. Переохлажденная (замерзающая) морось наблюдалась в мае – зафиксировано 2 случая, что составляет 7,4% от общего количества в этом месяце, в ночные часы при температуре воздуха 0°C и средней скорости ветра 1 м/с.

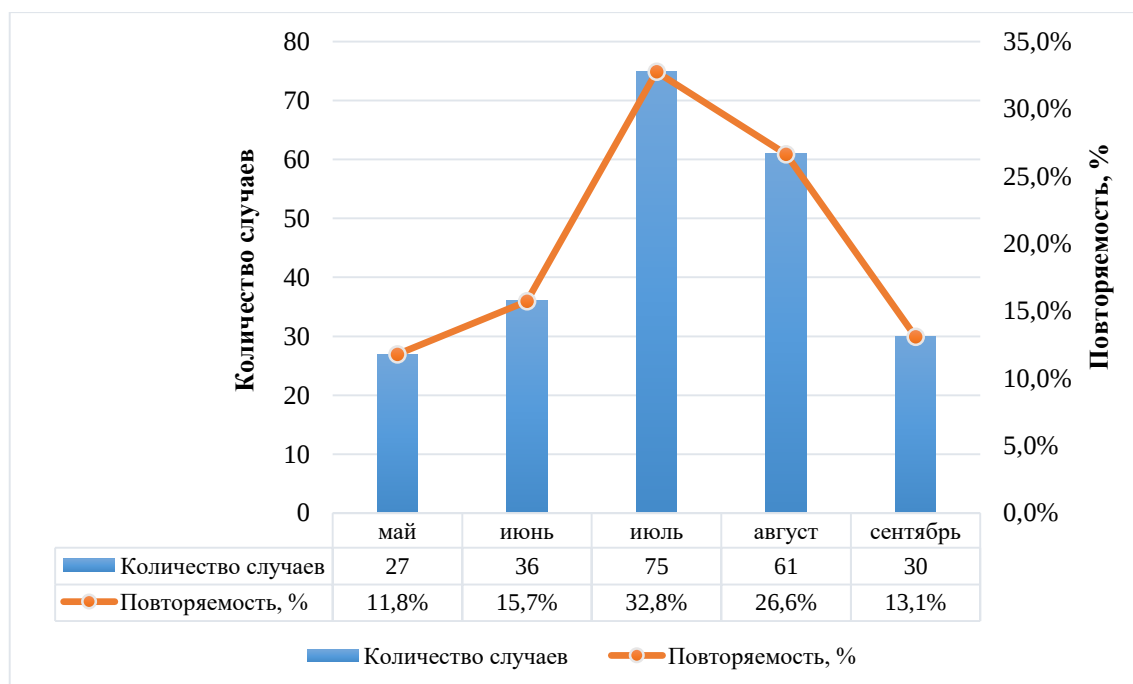


Рисунок 4.31 – Годовое распределение мороси в аэропорту Сокол за 2019-2023 гг.

На графике рисунка 4.32 представлены диаграммы средней и минимальной температур воздуха, а также средней и минимальной влажности, которые наблюдались при мороси за исследуемый период с 2019 по 2023 гг.

По графику видно, что морось наблюдалась при минимальной влажности 87%, минимальная температура воздуха +2,0°C, максимальная +15,0°C.

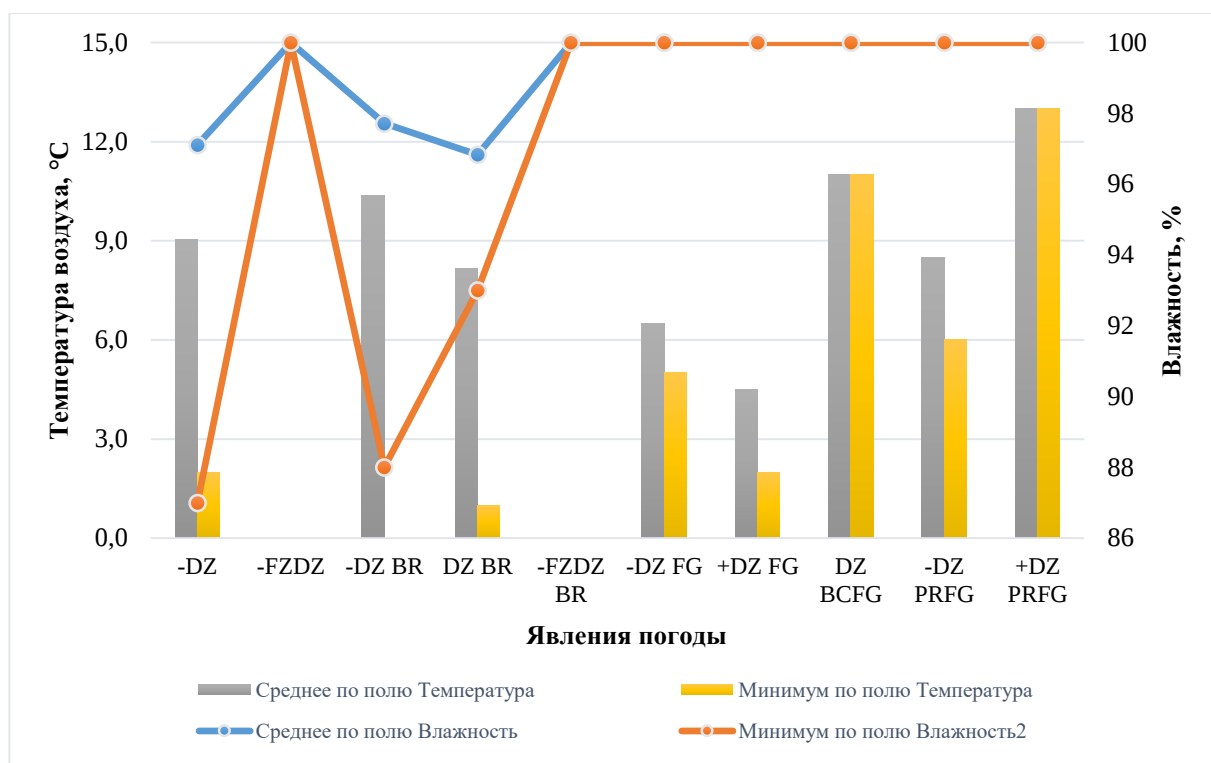


Рисунок 4.32 – Температура воздуха и влажность при мороси

Переохлажденная (замерзающая) морось в том числе с дымкой отмечается при температуре воздуха 0°C и влажности 100%.

Морось при любом виде тумана наблюдалась с влажностью 100%. Минимальная температура воздуха при мороси с туманом была +2,0°C, максимальная +13,0°C.

За исследуемый период с 2019 по 2023 гг. по гистограмме рисунка 4.33 видно, что при мороси и мороси с дымкой наибольшее количество повторяемости ветра составляет 2 м/с – это количество 207 раз от общей суммы в 229 раз, но также при дымке отмечается скорость ветра 1 м/с и это количество составляет 12 случаев. Когда морось наблюдается при скорости ветра 1 м/с или штиль – это отмечается в основном с туманом и составляет 8 случаев. Оставшееся количество приходится на переохлажденную (замерзающую) морось, при этом скорость ветра составляет 1 м/с.

Максимальная скорость ветра при мороси зафиксирована 7 м/с, при мороси с дымкой 5 м/с. А при мороси с туманом максимальная скорость ветра составляет 2 м/с.



Рисунок 4.33 – Повторяемость скоростей ветра в аэропорту Сокол при мороси

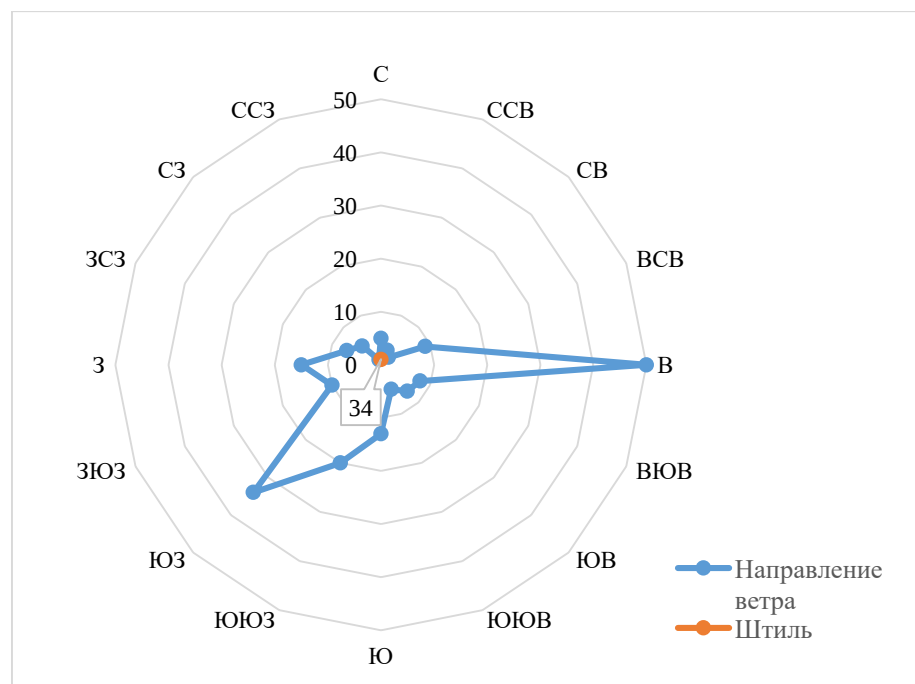


Рисунок 4.34 – Роза ветров при мороси на аэродроме Сокол

На графике рисунка 4.34 представлена роза ветров для мороси за период 2019-2023 гг. Анализ условий появления мороси в зависимости от направления и скорости ветра показал, что благоприятные условия для мороси являются при средней скорости ветра 1-2 м/с восточном и юго-западном направлениях, реже южное, юго-юго-западное и западное направлениями ветра.

4.5 Метель

4.5.1 Годовой ход повторяемости метели

За исследуемый период с 2019 по 2023 гг. в районе аэропорта Магадан (Сокол) наблюдалось 530 случаев с метелью.

Смещение циклонов по траекториям I, IIa, IIб, III, IVa, VIa (рисунок 4.35) является необходимым условием, но не достаточным для образования метели.

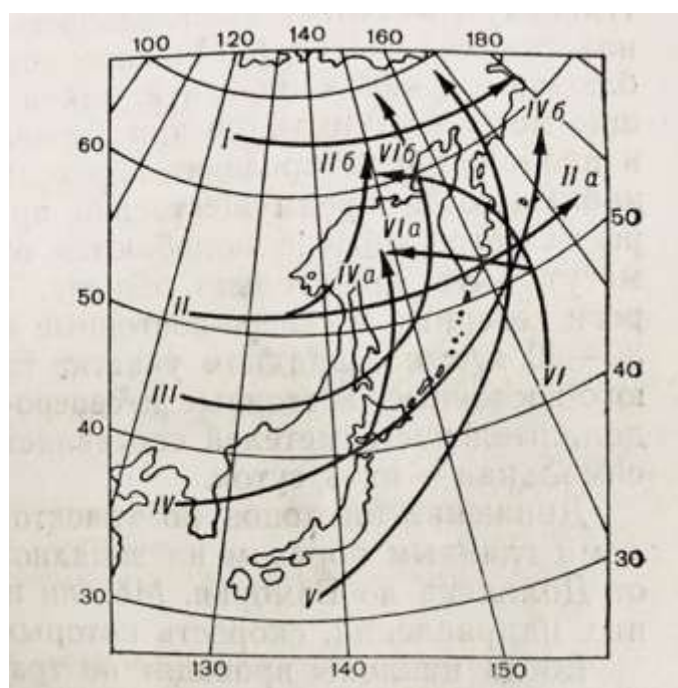


Рисунок 4.35 – Типовые траектории циклонов, вызывающих метели на Дальнем Востоке

Так метели стоит ожидать:

- а) если циклон распространится на верховья реки Колыма своей северной частью у поверхности Земли или периферией на АТ₈₅₀, при этом барический градиент на АТ₈₅₀ обусловит сильный ветер северной или северо-восточной четверти;
- б) если существенного распространения циклона на континент не ожидается, но над верховьями реки Колыма будет располагаться южная, юго-восточная периферия антициклона или отрога, которые прослеживаются и на АТ₈₅₀, что также обеспечит сильный ветер северной или северо-восточной четверти на уровне 850 гПа.

Метели прекращаются, если циклон сместится с районов Охотского моря на континент с тенденцией дальнейшего смещения на север.

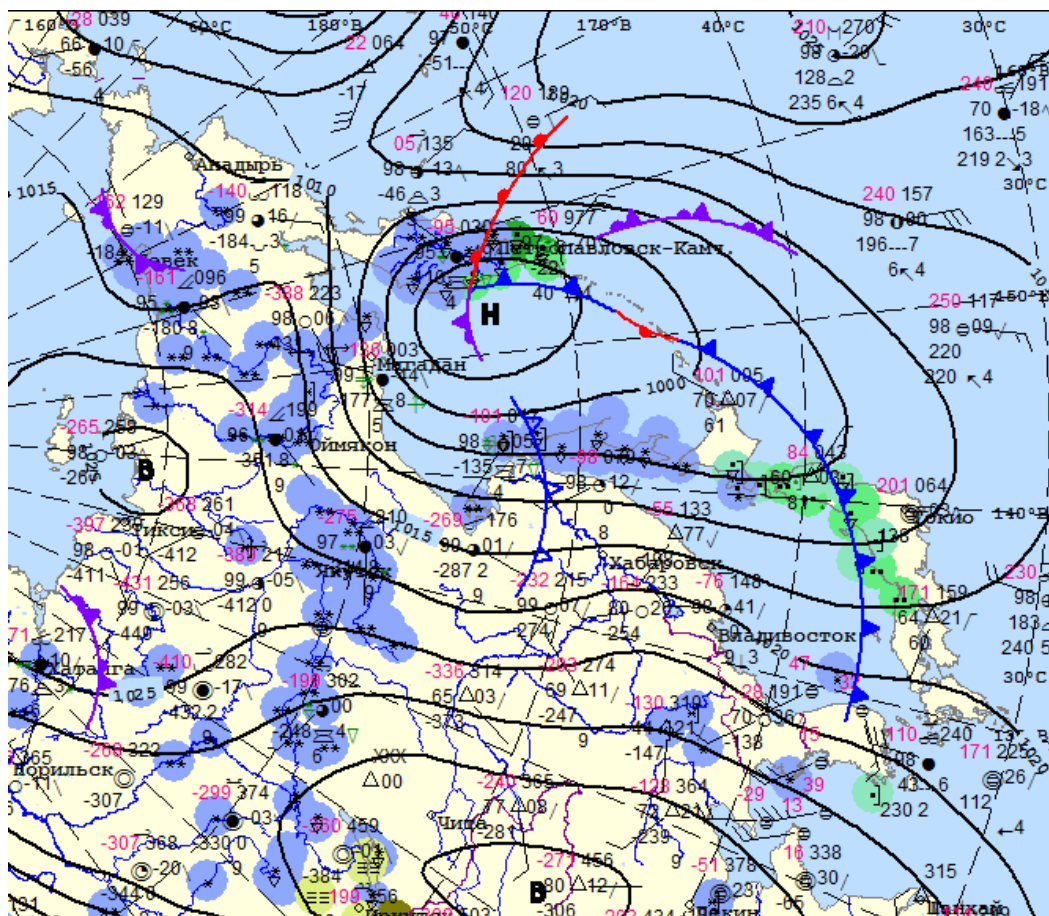


Рисунок 4.36 – Приземная карта погоды за 24.11.2023г. 00 UTC

По синоптическим картам с 00 UTC 24.11.2023г. по 18 UTC 26.11.2023г. (рисунки 4.36, 4.37) можно увидеть, что на погоду аэродрома Магадан в данный период оказывает влияние южный циклон, достигший стадии окклюдирования. Цент циклона расположен в юго-западной части полуострова Камчатки с делением в центре 995 гПа, холодный фронт с точкой окклюзией смещается на районы полуострова Камчатки и далее на район Тихого океана, но фронт окклюзии по циркуляции потоков будет смещаться на районы Магаданской области. Траектория циклона и его движение на север блокируется антициклонической циркуляцией, которая уже набрала обороты и стала преобладающей на материковой части западной Сибири, а также на районах Аляски. Следовательно, чем ближе подходит циклон к северному побережью Охотского моря и углубляясь (26.11.2023 за 18 UTC давление наблюдалось в центре 960 гПа), тем усиливаются барический градиент и на аэродроме Магадан, а также по всему побережью и на мысах возникает сильный ветер и выпадают сильные осадки, связанные с фронтом окклюзией, проходящий через аэродром Магадана, тем самым возникают условия для метели.

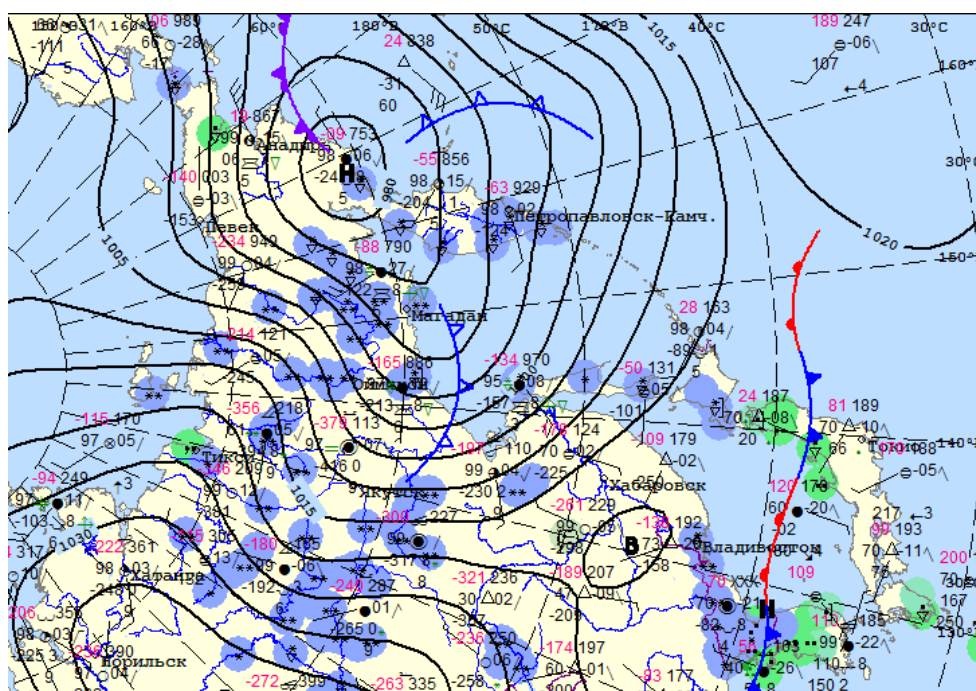


Рисунок 4.37 – Приземная карта погоды за 26.11.2023г. 18 UTC

На рисунке 4.38 представлена диаграмма повторяемости случаев метели в аэропорту Сокол. Наибольшее количество метели наблюдалось в 2020 году, что составляет 182 случая – это 34,3%. Наименьшее количество в 2019 году – 45 случаев, что составляет 8,5%.

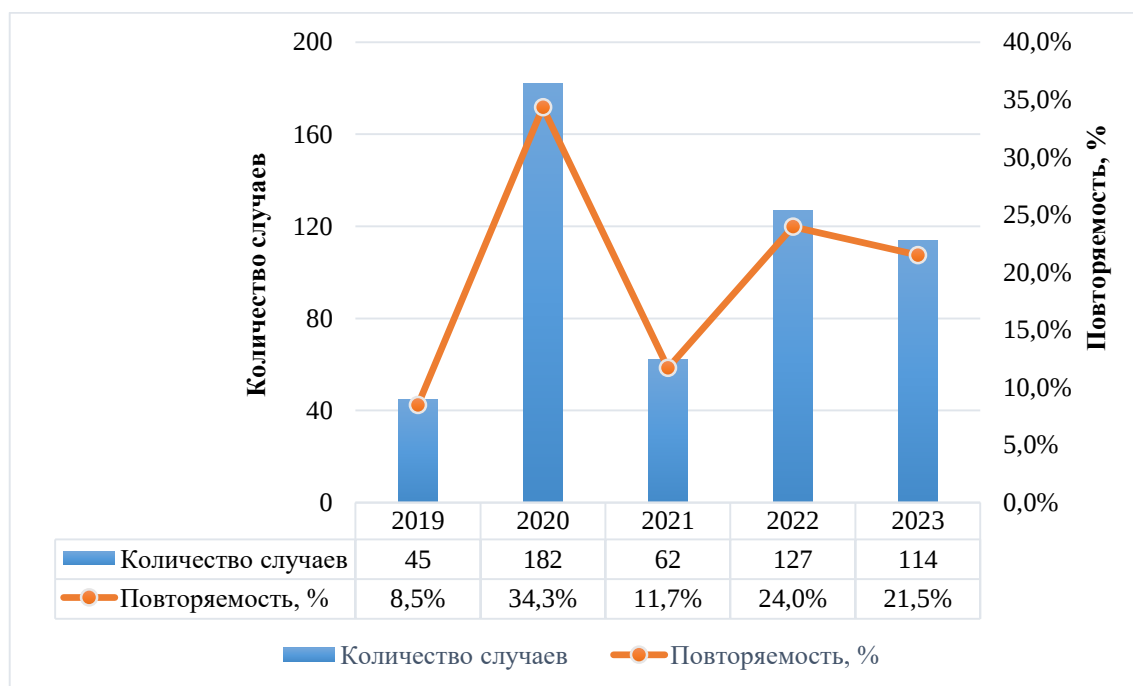


Рисунок 4.38 – Повторяемость случаев метели в аэропорту Сокол за 2019-2023 гг.

На рисунке 4.39 представлена диаграмма годового распределения метели в аэропорту Магадан (Сокол). Метель на аэродроме в основном наблюдается с января по апрель и с октября по декабрь – это видно по предоставленной ниже гистограмме. Максимум повторяемости метели наблюдается в марте (138 случаев), ноябре (136) и декабре (155). Это составляет 26,0%, 25,7% и 29,2% соответственно. Минимум метели приходится на февраль – 2 случая – это 0,4%.

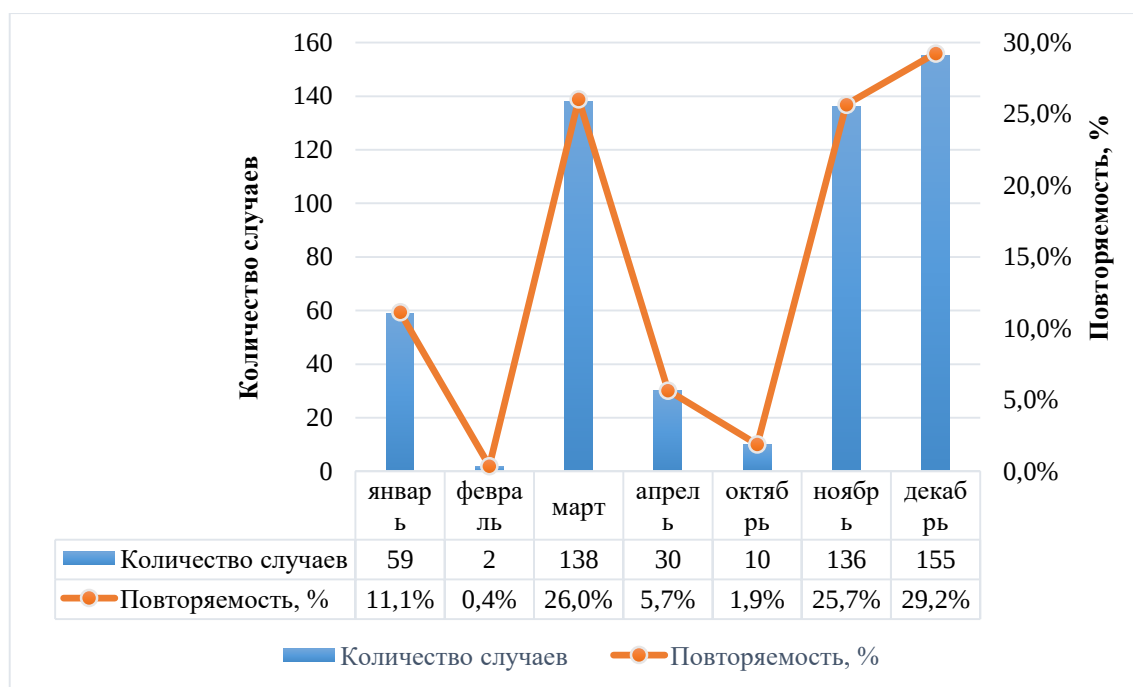


Рисунок 4.39 – Годовое распределение метели за период 2019-2023 гг.

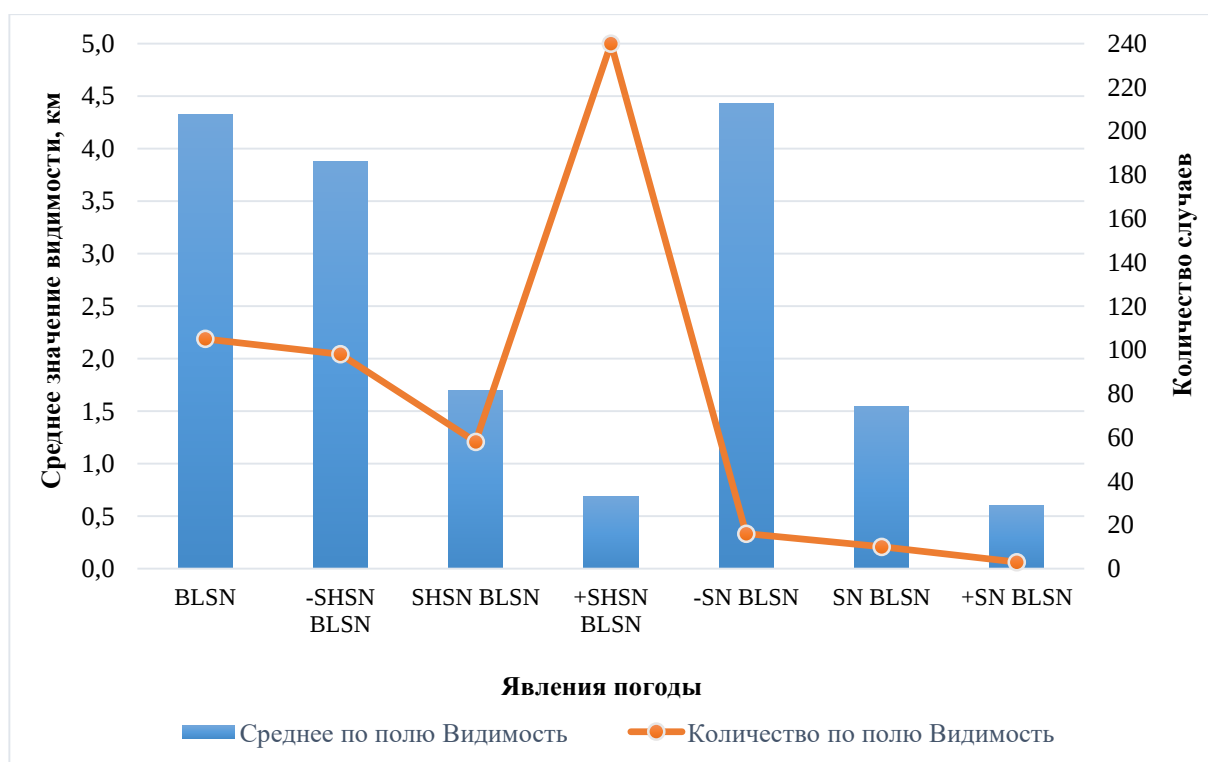


Рисунок 4.40 – Видимость при метели и метели с осадками

На графике рисунка 4.40 представлен годовой ход видимости за период 2019-2023 гг. при метели и метели с осадками. Как видно из графика, что наибольшее количество случаев наблюдается, когда метель была в сочетании

с ливневым снегом – это количество составляет 396 случаев (74,7%) от общего количества 530.

Стоит заметить, что большее количество метели наблюдается с сильным ливневым снегом 240 раз – это 45,3%. 29 раз (5,5%), когда метель наблюдалась с обложным снегом и 105 (19,8%), когда была метель без осадков.

Наибольшие повторяемости видимости при метели – это 200 и 500 метров, а также 5000 метров. Наибольшие повторяемости метели в сочетании со слабым ливневым снегом является видимость 2800 и 5000 метров, с умеренным 1100 и 1800 метров и при сильном видимость составляет от 100 до 500, а также 800 метров. Наибольшая повторяемость метели при слабом обложном снеге 5000 метров, с умеренным 1200-1300 метров и при сильном 800 метров.

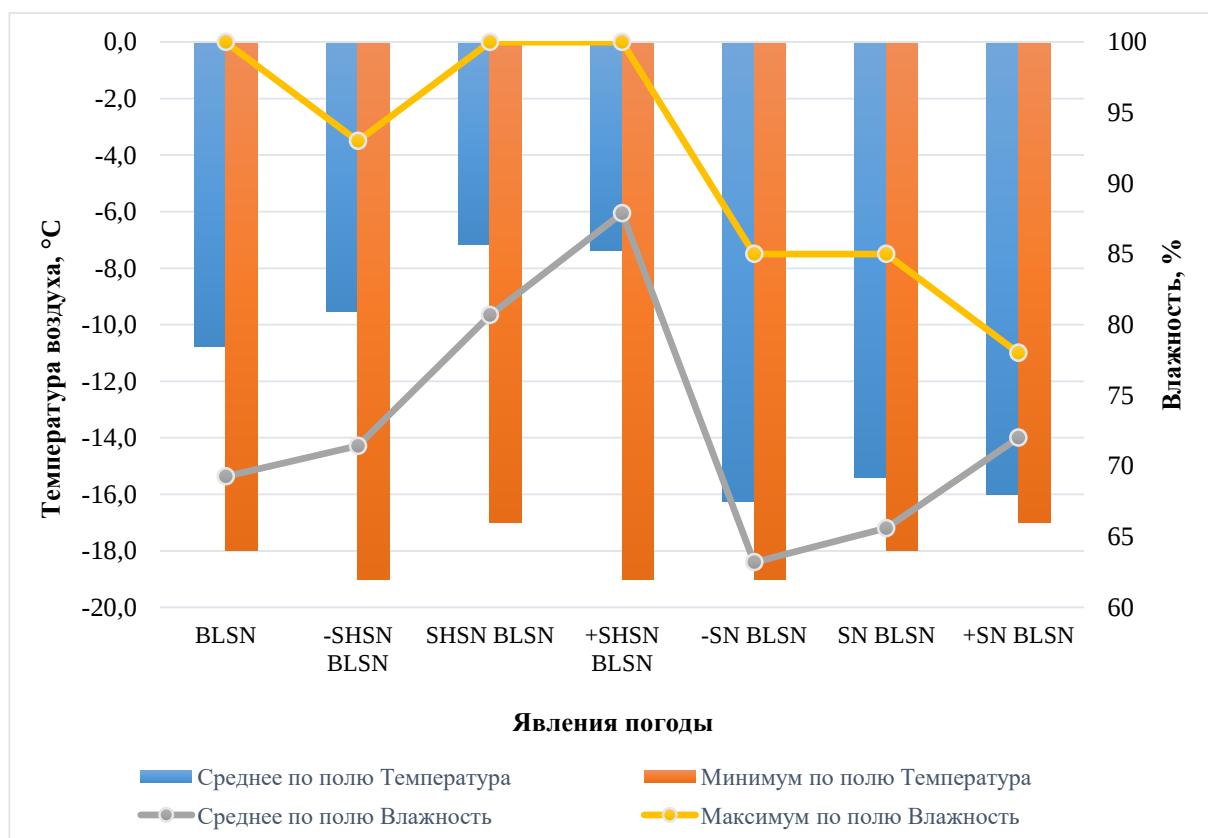


Рисунок 4.41 – Температура и влажность при метели и метели с осадками

На графике рисунка 4.41 представлены диаграммы средней и минимальной температур воздуха, а также средней и максимальной

влажности, которые наблюдались при метели за исследуемый период с 2019 по 2023 гг.

По графику видно, что метель наблюдалась при средней температуре воздуха $-10,8^{\circ}\text{C}$, минимальная температура воздуха $-18,0^{\circ}\text{C}$. Средняя влажность 69%, максимальная 100%.

Метель с ливневым снегом отмечалась при средней температуре воздуха в пределах -7°C , минимальная температура -19°C . Средняя влажность 71-88%, максимальная 93-100%.

Метель с обложным снегом отмечалась при средней температуре воздуха в пределах -16°C , минимальная температура -18°C . Средняя влажность 63-72%, максимальная 78-85%.

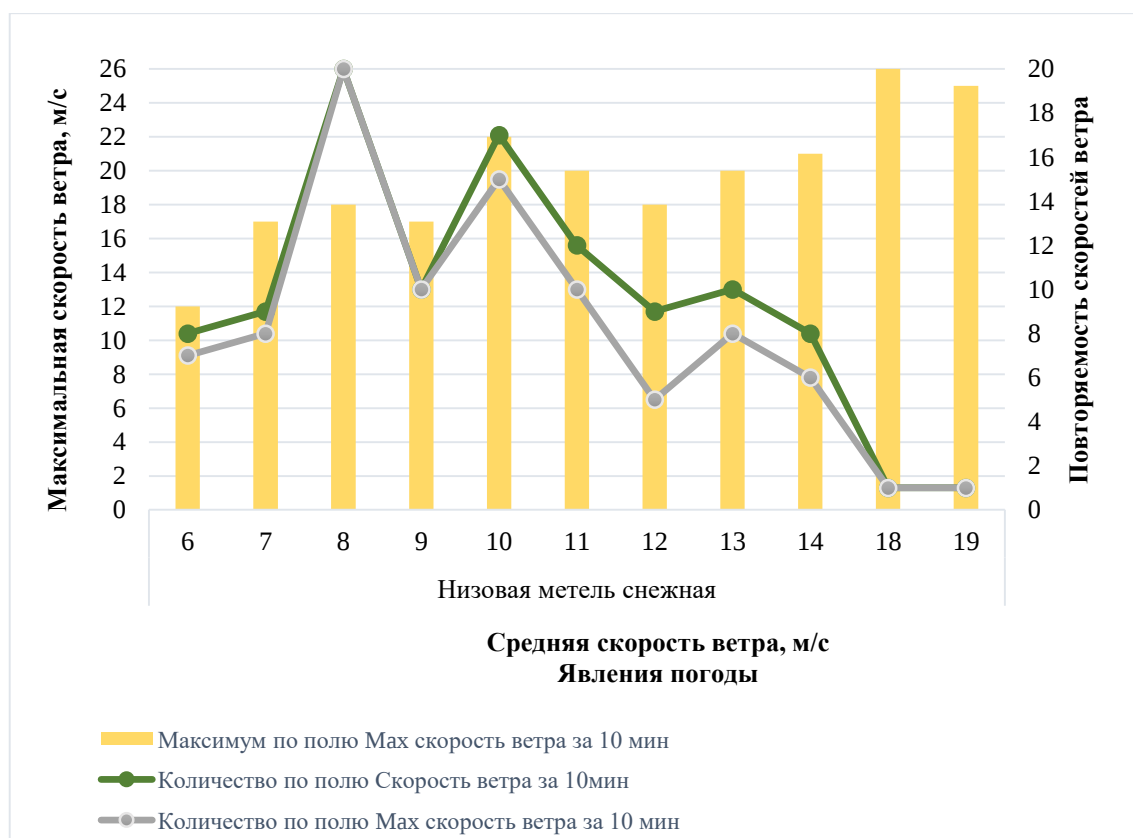


Рисунок 4.42 – Повторяемость скорости ветра в аэропорту Сокол при метели

За исследуемый период с 2019 по 2023 гг. по графику рисунка 4.42 видно, что при низовой метели наибольшее количество повторяемости ветра составляет скорость 8 м/с – это количество 20 раз от общей суммы в 105 раз,

при этом максимальная скорость (порывы) отмечаются 18 м/с. Средняя скорость ветра зафиксирована от 6 до 14 м/с, а также 18-19 м/с порывы достигают до 26 м/с. Общее количество порывов составляет 91 раз.

При средней скорости ветра 10-11 м/с порывы составляют 20-22 м/с. Повторяемость таких порывов при средней скорости 15 раз.

При средней скорости ветра 12-14 м/с порывы составляют 18-21 м/с. Повторяемость ветра зафиксирована в пределах 10-ти раз.

При средней скорости 18-19 м/с порывы составляют 25-26 м/с – эта повторяемость зафиксирована по 1 разу.

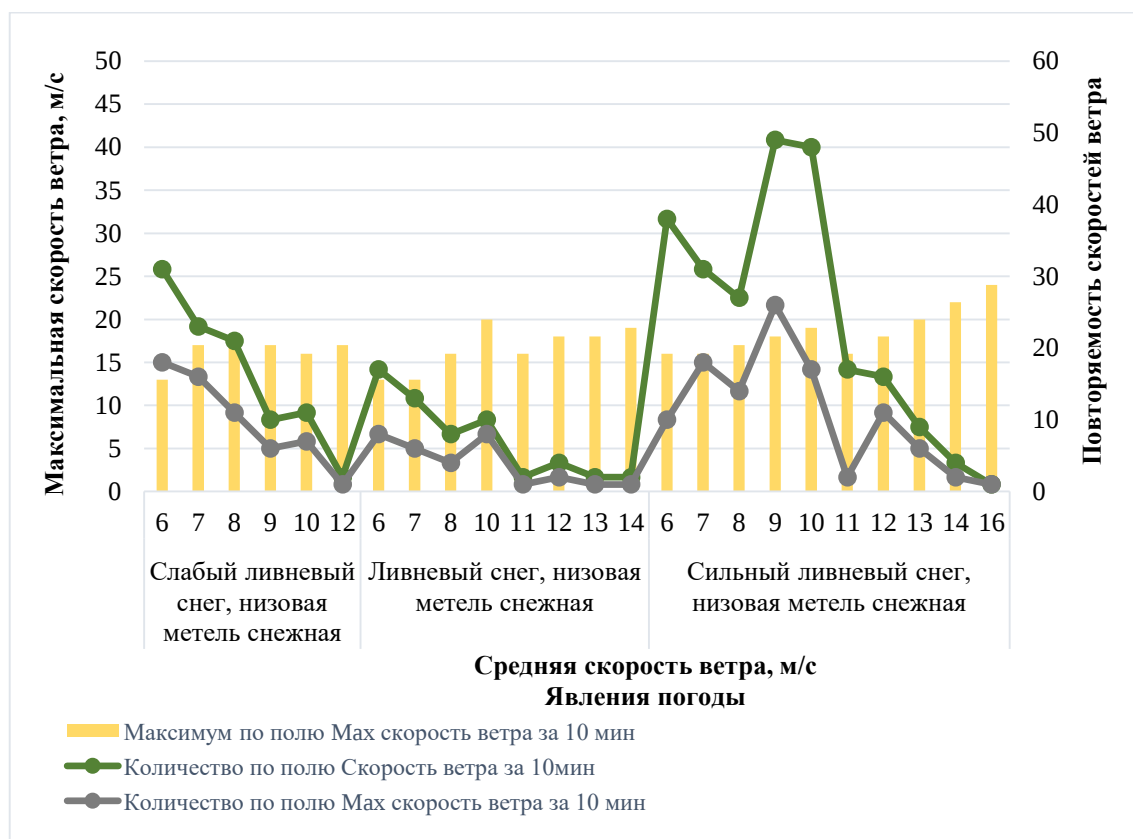


Рисунок 4.43 – Повторяемость скорости ветра в аэропорту Сокол при метели с ливневым снегом

За исследуемый период с 2019 по 2023 гг. по графику рисунка 4.43 видно, что при низовой метели с ливневым снегом наибольшее количество повторяемости ветра составляет скорость 9 м/с – это количество 49 раз от общей суммы в 396 раз, при этом максимальная скорость отмечается 18 м/с.

При слабом ливневом снеге и низовой метели наибольшее количество средней скорости ветра (6 м/с) составляет 31 раз, максимальная скорость 13 м/с – это тоже наибольшее количество 18 раз.

При умеренном ливневом снеге и низовой метели наибольшее количество средней скорости ветра (6 м/с) составляет 17 раз, максимальная скорость 13 м/с и это количество 8 раз от общей суммы.

При сильном ливневом снеге и низовой метели наибольшее количество средней скорости ветра (9 м/с) составляет 49 раз, максимальная скорость 18 м/с и это количество 26 раз. Максимальное значение средней скорости составляет 16 м/с порыв 24 м/с отмечалось 1 раз.

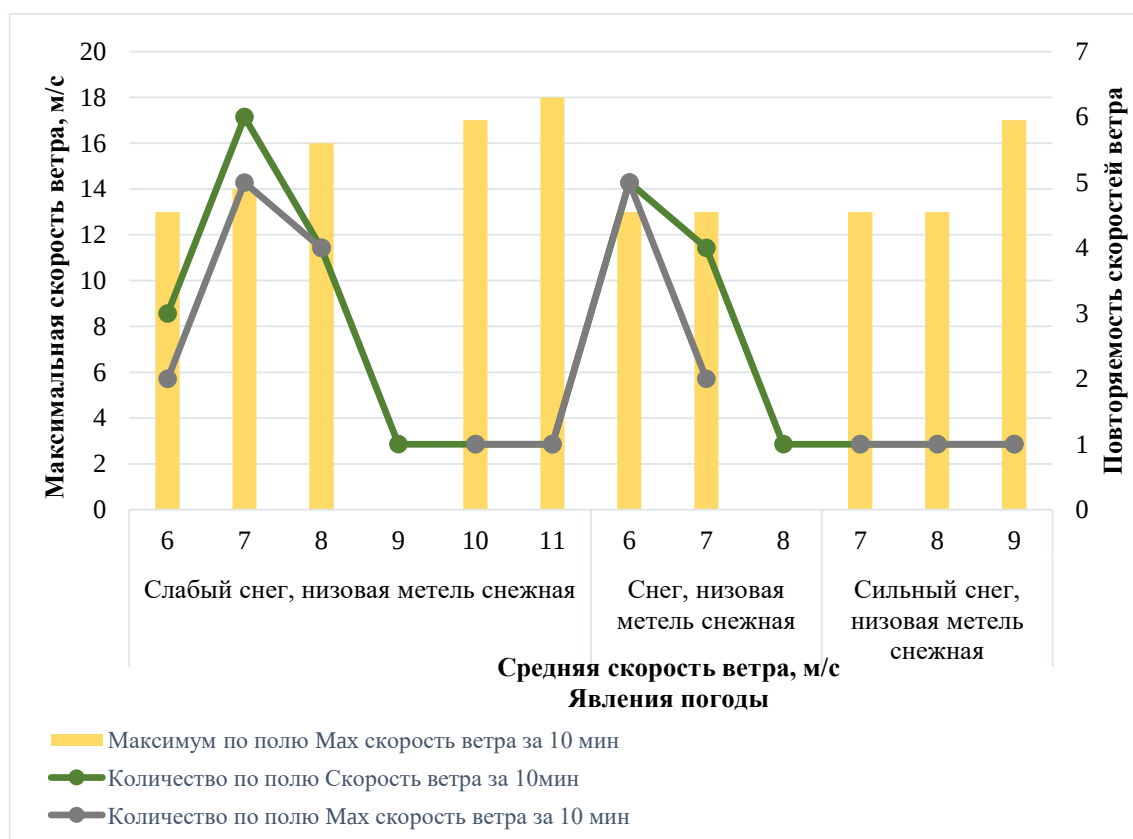


Рисунок 4.44 – Повторяемость скорости ветра в аэропорту Сокол при метели с обложным снегом

За исследуемый период с 2019 по 2023 гг. по графику рисунка 4.44 видно, что при низовой метели с обложным снегом наибольшее количество повторяемости ветра составляет скорость 7 м/с – это количество 6 раз от общей

суммы в 29 раз, при этом максимальная скорость отмечается 14 м/с. Максимальное значение средней скорости составляет 11 м/с порыв 18 м/с отмечалось 1 раз.

При слабом обложном снеге и низовой метели наибольшее количество средней скорости ветра (7 м/с) составляет 6 раз, максимальная скорость 14 м/с – это тоже наибольшее количество 5 раз.

При умеренном обложном снеге и низовой метели наибольшее количество средней скорости ветра (6 м/с) составляет 5 раз, максимальная скорость 13 м/с.

При сильном обложном снеге и низовой метели средняя скорость ветра 7-9 м/с порывы фиксируются до 17 м/с.

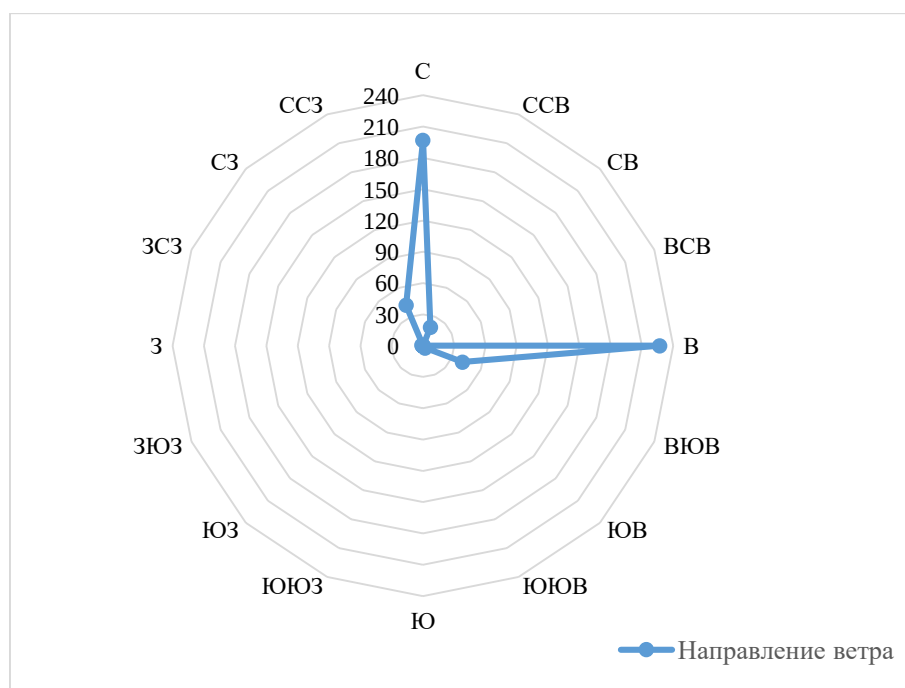


Рисунок 4.45 – Роза ветров при метели на аэродроме Сокол

На графике рисунка 4.45 представлена роза ветров при низовой метели за период 2019-2023 гг. Анализ условий появления низовой метели в зависимости от направления и скорости ветра показал, что благоприятные условия для метели являются 7-9 м/с при северном и восточном направлениях

ветра, реже северо-северо-восточное, востоко-юго-восточное и северо-северо-западное направлениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были обработаны данные архивов – это сводки погоды журнал СП-12, журнал АВ-6 с сайта рп5 и журнал бортовой погоды за 5 лет аэродрома Магадан (Сокол) с 2019г. по 2023г. Составлялись таблицы, графики, гистограммы для расчетов средних, максимальных и минимальных значений, строился график для определения преобладающих направлений ветра при сдвиге ветра. Был сделан анализ данных погоды на аэродроме Магадан (Сокол).

Можно сделать вывод о том, что самые опасные явления на аэродроме являются грозы, дым, туман, метель, сильный ветер, турбулентность, обледенение и сдвиг ветра. Самое большое количество из опасных явлений погоды за пятилетний период относится к туману (1255 случаев), дымке (1376), сильному ветру (2017) и осадкам – это снег (7122), дождь (3642), а также турбулентность (1417). Наименьшее количество случаев приходится на все остальные явления – это гроза (39 случаев), дым (185), морось (229), метель (530), обледенение (511) и сдвиг ветра (826).

Грозовая деятельность, дым, туман, дымка, морось, дождь наблюдаются в основном в теплый период; метель, сильный ветер, снег, обледенение, турбулентность и сдвиг ветра отмечаются в холодный период и переходные сезоны.

Только знание климата, знание законов изменения элементов его во времени и пространстве, правильный, полный и своевременный учет климатических особенностей в повседневной практической деятельности различных народно-хозяйственных организаций позволит найти оптимальные решения при планировании, строительстве и ведении хозяйства области, а также наметить меры эффективной борьбы с возникающими трудностями, связанными с климатическими условиями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баранов А.М., Солонин С.В. Авиационная метеорология. Л., Гидрометеиздат, 1981 г. – 384 с.;
2. Гуральник И.И., Дубинский Г.П., Ларин В.В., Мамиконova С.В. Метеорология. Л., Гидрометеиздат, 1982 г. – 440 с.;
3. Дубинский Г.П., Гуральник И.И., Мамиконova С.В. Метеорология. Л., Гидрометеиздат, 1960 г. – 455 с.;
4. Инструктивный материал по кодам METAR, SPECI, TAF;
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3, часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. Л., Гидрометеиздат, 1985 г. – 300 с.;
6. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Выпуск 5, часть 2. Дальний Восток. Л., Гидрометеиздат, 1988 г. – 176 с.;
7. Руководство по облакам вулканического пепла, радиоактивных материалов и токсических химических веществ – ИКАО – 2007 г.;
8. Яковлев А.М. Авиационная метеорология. Издательство «Транспорт», 1971 г. – 248 с.